UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

SISTEMÁTICA DE PROJETO CONCEITUAL COM ABORDAGEM MODULAR - AMBIENTAL PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS:

APLICAÇÃO DE ESTUDO DE CASO NO REPROJETO DE ASPIRADOR DE PÓ

ANA VERÓNICA PAZ Y MIÑO

FLORIANÓPOLIS
1999

ANA VERÓNICA PAZ Y MIÑO

SISTEMÁTICA DE PROJETO CONCEITUAL COM ABORDAGEM MODULAR - AMBIENTAL PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS: APLICAÇÃO DE ESTUDO DE CASO NO REPROJETO DE ASPIRADOR DE PÓ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Produção

Florianópolis
agosto de 1999

ANA VERÓNICA PAZ Y MIÑO

SISTEMÁTICA DE PROJETO CONCEITUAL COM ABORDAGEM MODULAR - AMBIENTAL PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS: APLICAÇÃO DE ESTUDO DE CASO NO REPROJETO DE ASPIRADOR DE PÓ

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina.

Ricardo Miranda Barcia, Ph. D.
Coordenador

Banca Examinadora

Gregório Jean Varvakis Rados, Ph. D.
Orientador

Nelson Back, Ph. D.

Fernando A. Forcellini, Dr. Eng.

... é na inspiração do trabalho científico, na escolha dessa ou daquela linha de pesquisa por parte do cientista, no seu estilo de trabalho, que iremos encontrar o indivíduo; a necessidade de aprendermos sempre mais, de fazermos parte do constante processo de descoberta, de iluminarmos através da razão os escuros corredores da ignorância e do medo, de transcendermos as limitações da nossa percepção restrita.

[Marcelo Gleiser: A Dança do Universo]

AGRADECIMENTOS

- À Universidade Federal de Santa Catarina que permitiu a realização deste trabalho;
- À CAPES pelo apoio para a realização deste trabalho;
- Ao Prof. Gregório Varvakis Rados, por ter aceito minha proposta de dissertação e pela orientação prestada para a elaboração deste trabalho;
- A Conceição Martins da Escola Técnica Federal pela indicação do material de pesquisa;
- A minha mãe pelo apoio e estimulo em todos os momentos da minha vida;
- A meu pai † pelo incentivo ao conhecimento;
- A minha irmã Esthela pela colaboração com o material de pesquisa;
- Ao Mestrando Cláudio Weber pela colaboração e contribuição na aplicação do trabalho e no auxílio da modelagem do reprojeto;
- Ao Doutorando Juscelino de Farias Maribondo pela colaboração e atenção dispensada ao trabalho;
- Á empresa Electrolux na pessoa de Alexandre Neves pela contribuição para á aplicação do estudo de caso;
- Aos amigos Flávio A. Dos Santos, Maria do Carmo Duarte Freitas, Ligia Francovich, Omar Nuñez Diban, Tania Calvi Tait, pela amizade construída no mestrado;
- E a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a construção deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE QUADROS

RESUMO

Um dos problemas críticos que a sociedade de consumo enfrenta, é o do descarte do produto, no final da vida útil que gera inúmeros prejuízos ambientais. Assim, as considerações atuais de projeto de produto, apontam para um desenvolvimento aonde a substituição de materiais, reuso, facilidade de manutenção, desmontagem, e reciclabilidade sejam consideradas na fase de planejamento.

No desenvolvimento de projeto, tem surgido nas últimas décadas uma série de idéias, técnicas, teorias e conceitos para auxiliar na fase conceituai do projeto de produto, temos assim o QFD (Quality Function Deployment), DFE (Design for Environment), DFR (Design for Recyclability), DFD (Design for Disassembly), DFLC (Design for Life Cycle) que reforçam a centralidade e importância do projeto para a competitividade do produto industrial. Outra técnica que surgiu na década de 50, é a do Projeto Modular que considera o produto dividido em componentes independentes permitindo criar uma variedade de produtos, tornando possível a extensão do ciclo de vida do produto, retardando seu descarte pela substituição de componentes, facilitando a separação dos produtos para sua reciclagem, reuso e substituição dos componentes.

Após o estudo dessas ferramentas, o presente trabalho desenvolve uma sistemática para a fase conceituai do desenvolvimento de produto integrando os critérios de projeto das ferramentas estudadas, visando alcançar uma modularidade do produto com objetivo ambiental. A sistemática proposta conta com ferramentas adequadas em cada etapa e aponta os critérios a serem levados em conta na fase conceituai de desenvolvimento de produtos, auxiliando na execução da tomada de soluções e finalmente gerando a estrutura modular - ambiental preliminar do produto.

Após o desenvolvimento da sistemática realizou-se a sua validação no reprojeto de um aspirador de pó da indústria Electrolux, gerando a estrutura modular - ambiental preliminar do aspirador e revelando a validade da sistemática proposta.

ABSTRACT

One of the critical problems that the consumer society faces is the disposal of product at the end of its life cycle which leads to uncountable environmental damages. This way, the present concerns with the design of the product point out such development where material replacement, reuse, maintenance availability, disassembly, and recyclability are under high consideration in the planning phase.

During the last decades, several ideas, techniques, theories and concepts have been brought up in order to support the conceptual stage of the product design development, such as: QFD (Quality Function Deployment), DFE (Design for Environment), DFR (Design for Recyclability), DFD (Design for Disassembly), DFLC (Design for Life Cycle), reinforcing the centrality and importance of the design for competitiveness of industrial output. Modular Design, another technique aroused in the 50s, considers the product as independently divided components, allowing the development of a variety of other products, extending the target product life cycle, retarding the disposal by the replacement of the components, making the product classification easier regarding recycling, reuse and components substitution, as well.

After the study of these tools, the present work evolves a systematic to operate in the conceptual phase of the product development integrating the design criteria of the studied tools, with the aim of reaching modularity of the product within its environment. The proposed systematic is composed of suitable tools in its conceptual phase of product development, supporting the performance of finding solutions and finally generating the previous environmental-modular structure of the product. As soon as the system development was completed, it was validated by the redesign of a vacuum cleaner (from Electrolux Industry), generating the previous environmental-modular structure of the vacuum cleaner, and finally, revealing the validity of the proposed systematic.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Em escala mundial, a consciência associada ao impacto sobre os ecossistemas naturais tem aumentado e a sociedade também tornou-se mais preocupada com potenciais problemas como o aquecimento global e a destruição da faixa de ozônio na estratosfera, tentando resolver os problemas mais visíveis de poluição global. Grandes acidentes como o de Bhopal, na Índia, o Valdez da Exxon, tem focalizado a atenção nos impactos ambientais da indústria e na responsabilidade dos segmentos industriais e almeja que a mesma se torne mais cuidadosa com o meio ambiente.

O despertar da consciência ecológica no início da década de 70, permitiu que o homem busque um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e o meio ambiente. Em 1987 é cunhado o conceito de desenvolvimento sustentável pelo relatório da Brundtland Comission, intitulado "Our Comom Future" ("Nosso Futuro Comum"), a abordagem do desenvolvimento sustentável é a do crescimento direcionado à satisfação das necessidades humanas básicas, usando tecnologias e matérias-primas de maneira que garantam que os recursos naturais continuarão disponíveis para o usufruto e a produtividade das gerações futuras.

Atualmente a sociedade como um todo reconhece a necessidade de uma mudança fundamental não somente na proteção do meio ambiente como na gestão natural dos recursos naturais. O desenvolvimento das questões ambientais tem levado ao homem a ter uma visão sistêmica do planeta como um conjunto intimamente relacionado que funciona como uma estrutura organizada.

"Em 1998, pequenas mudanças no curso dos ventos, marés e condições de temperatura ao longo da costa oeste da América do Sul provocaram um fenômeno oceanográfico conhecido como El Niño, provando inexoravelmente que o céu e o oceano estão conectados, assim como nós também estamos - independentemente do lugar do planeta aonde nos encontremos. El Niño já tinha se manifestado em muitos anos, mas agora, pela primeira vez, compreendeu-se seriamente que as inundações no Centro Oeste dos EUA, a seca na África, o preço dos cereais a situação do mercado de capitais, a economia das nações e muitos fenômenos aparentemente sem relação entre si estão ligados à natureza provando inexoravelmente que a natureza e nós estamos conectados, independentemente" [Earle, 1998]. Conclui-se daí que as relações entre o desenvolvimento econômico e o uso do meio ambiente se colocam de forma interativa.

Com a revolução científica e depois com o advento da revolução industrial o mundo e a sociedade entraram em um caminho de industrialização onde a inovação tecnológica norteia a transformação global que na última década tem moldado o viver das sociedades.

O sistema industrial funciona dentro das sociedades, oferecendo respostas as suas diversas necessidades e vontades, gerando produtos para suas demandas. A relação de indústria e sociedade produz vantagens tais como a criação e desenvolvimentos de mercados, mas também gera impactos ambientais, considerando o conjunto de atividades associadas ao sistema industrial, desde a extração de matérias primas até a eliminação de resíduos.

O progresso da humanidade e o alto grau de consumo tem exigido da indústria mudanças no seu processo de manufatura e tecnologias de produção, envolvendo uma série de transformações cujo resultado é o surgimento rápido de uma grande variedade de novos produtos no mercado.

Maior número de produtos diferenciados, certamente geram maior competitividade e mercados mais diversos, mas, do ponto de vista ambiental cada produto é um problema, pois cada produto projetado/produzido consome recursos naturais e gera resíduos.

Uma das preocupações hoje, é no final da vida útil do produto, como conduzir da melhor forma o seu descarte reduzindo/eliminando o prejuízo ao ecossistema demostrando que é uma prioridade projetar e produzir produtos com a preocupação com o seu descarte.

Dentro das considerações do, DFE (Design for Environment) Projeto para o meio ambiente, que propõe que a redução do impacto ambiental tem que ser considerada no projeto de produto é que surge a proposta deste trabalho. Baseado em conceitos e diretrizes ambientais na fase inicial do desenvolvimento do projeto de produto articulando uma nova visão que nos abre para novas possibilidades, para um projeto ambiental e certamente social.

Em face dessa realidade, este trabalho pretende construir uma dissertação que responda as necessidades de projeto de produto com preocupação no seu descarte, respondendo assim a uma necessidade ambiental.

Como suporte ao trabalho serão consideradas técnicas e ferramentas que surgiram a partir da década de 80 na procura de alcançar a maior competitividade do produto, as mesmas que maximizam características diversas de qualidade, montagem, produtividade entre outras. Assim temos o DFQ (Design for Quality) Projeto para a Qualidade, QFD (Quality Function Deployment) Desdobramento da Função Qualidade, DFE (Design for Environment) Projeto para o Meio Ambiente, DFLC (Design for Life Cycle) Projeto para Ciclo de Vida, DFD (Design for Disassembly) Projeto para Desmontagem, DFR (Design for Reciclability) Projeto para Reciclagem.

Outra técnica a ser considerada será o Projeto de produto modular já que esta técnica que considera o produto dividido em componentes independentes permite que o produto possa ser atualizado, facilitar a desmontagem, assim como, permitir a reciclagem. Com o auxílio do projeto de produto modular teremos mais uma ferramenta para lidar com o descarte do produto.

Esta dissertação pretende então, integrar as diversas ferramentas através da proposição de uma sistemática para o desenvolvimento de produtos modulares com alta qualidade ambiental.

1.2. RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA

O que vivemos hoje é um avanço acelerado da tecnologia dentro de um mundo globalizado em níveis econômicos e culturais que junto com o desenvolvimento de novas tecnologias e o acirramento da competitividade no mercado tem exigido dos produtos uma constante mudança nas suas características formais e técnicas.

Em muitos casos trocar uma peça, ou adequar o produto para outras necessidades representa um alto custo sendo preferível adquirir um produto mais moderno com uma diferença de preço muito pequena, assim produtos são descartados o que representa um impacto ambiental. O lixo de produtos praticamente novos é a nova característica da sociedade deste final de século.

Existe a necessidade de uma reformulação para uma visão mais ambiental do produto, reduzindo o impacto ambiental no final do seu ciclo de vida. É preciso uma reformulação de conceitos e métodos de trabalho no desenvolvimento de produtos, o que já vem acontecendo com a ajuda de ferramentas que auxiliam o projetista no desenvolvimento de produtos ecológicos que se preocupam com o produto e o seu impacto no meio ambiente.

Aplicando a consideração de substituição e reutilização este trabalho de pesquisa pretende retomar o projeto modular como uma ferramenta que ofereça desenvolver produtos diferenciados a baixo custo, fáceis de desmontar facilitando assim a reciclagem, o reuso, a fácil manutenção, e possibilitando estender o ciclo de vida do produto ou dos seus componentes.

A pesquisa pretende retomar o projeto de produto modular e adequá-lo as necessidades ambientais, possibilitando desenvolver um produto de qualidade, performance técnica e que ofereça ao cliente um produto que responda as necessidades ambientais permitindo ser facilmente desmontado e reciclado.

Sendo assim, o presente trabalho, justifica-se por contribuir para promover o desenvolvimento de um produto ecológico, de fácil desmontagem, favorecendo a reciclagem, conserto, manutenção, renovação, reuso, e minimizando o descarte do produto e o impacto ambiental.

1.3. OBJETIVO GERAL DO TRABALHO

Propor uma sistemática integrada de projeto de produtos para a fase conceitual, visando principalmente, facilitar a desmontagem, reciclagem e manutenção do produto ou dos seus componentes, proporcionando uma opção para redução do impacto ambiental.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estabelecer a relação de projeto de produto e a questão ambiental;
- Apresentar e listar as diretrizes de projeto de técnicas de desenvolvimento de projeto de produto ecologicamente correto;
- Estudar as características do projeto de produto modular;
- Propor uma sistemática integrada de projeto de produtos modulares para a fase conceituai com enfoque ambiental;
- Validar a sistemática proposta através da aplicação com um estudo de caso em um produto;
- A partir dos resultados obtidos, generalizar a sistemática, bem como propor recomendações para trabalhos futuros.

1.5. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

O presente trabalho não se propôs entrar nas outras fases do desenvolvimento de projetos (preliminar e detalhado), nem a abordagem dos custos. Limitou-se, isso sim, a propor uma sistemática integrada com objetivos ambientais para a fase conceituai do desenvolvimento de produtos.

O escopo do trabalho de pesquisa pretende atingir as duas primeiras etapas da metodologia convencional de projeto, que correspondem a definição da tarefa e ao projeto conceituai. Na FIGURA 1.1 é apresentado graficamente o escopo do trabalho de pesquisa.

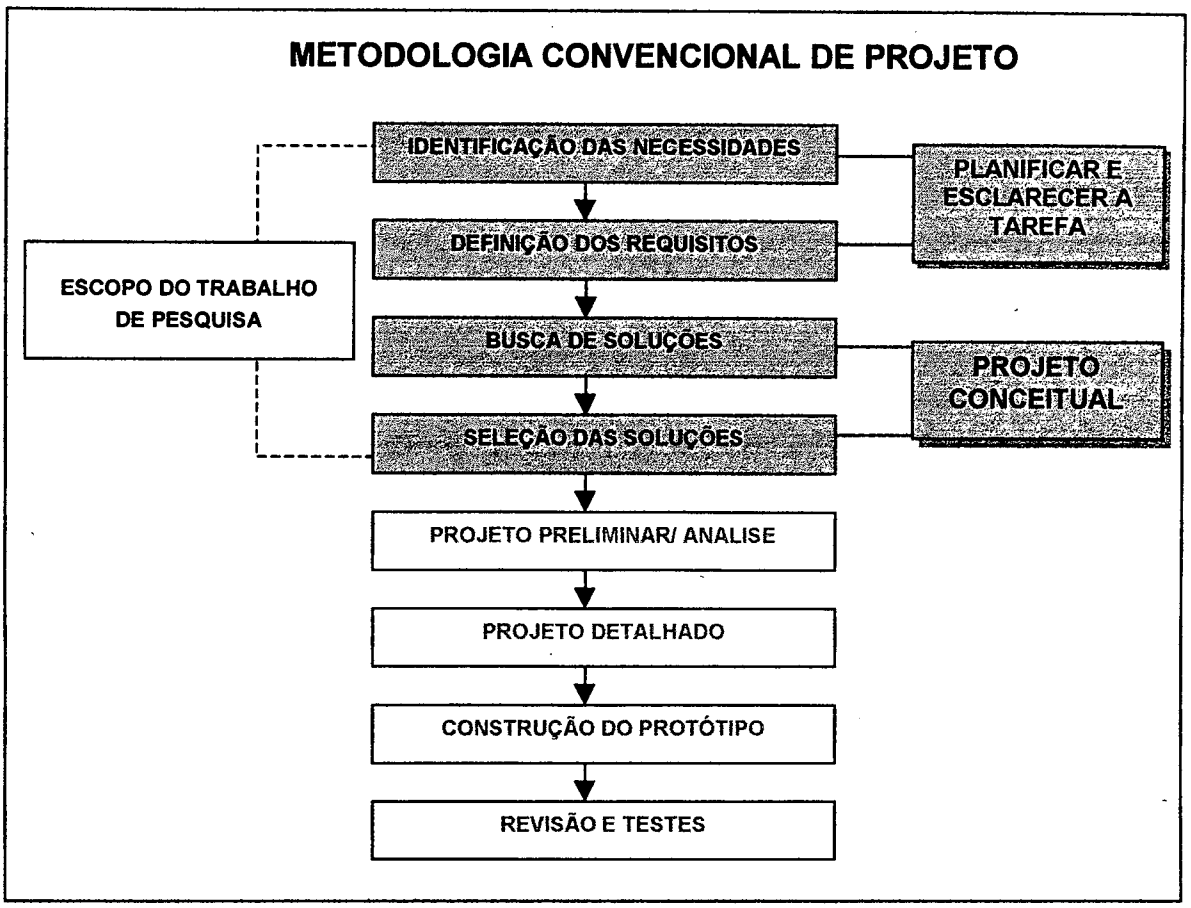


FIGURA 1.1 Escopo do trabalho de pesquisa na metodologia convencional de desenvolvimento de produto.

Considerando a ênfase do trabalho em facilitar a desmontagem, reciclagem e manutenção do produto, optou-se por não considerar o impacto ambiental do produto na fabricação, nem durante seu uso. Assim, concentraram-se esforços em minimizar o impacto ambiental que acontece durante o descarte do produto.

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

Para alcançar os objetivos propostos, o trabalho foi estruturado em 7 Capítulos da seguinte forma:

O Capítulo 2 apresenta um estudo da questão ambiental na busca do desenvolvimento sustentável, apresenta a importância do desenvolvimento de projeto de produtos para alcançar a competitividade, elaborando assim o pano de fundo respaldando os motivos para o desenvolvimento de produtos ambientais.

O Capítulo 3 descreve critérios e diretrizes das diversas ferramentas existentes que auxiliam na fase do projeto conceitual no desenvolvimento do produto, o DFQ (Design for Quality) Projeto para a Qualidade, QFD (Quality Function Deployment) Desdobramento da Função Qualidade, DFE (Design for Environment) Projeto para o Meio Ambiente, DFLC (Design for Life Cycle) Projeto para Ciclo de Vida, DFD (Design for Disassembly) Projeto para Desmontagem, DFR (Design for Reciclability) Projeto para Reciclagem.

O Capítulo 4 trata de produtos modulares, características de estrutura da modularidade como variedade e padronização, bem como os pontos básicos que devem ser analisados para a estruturação dos módulos, interfaces e planejamento das relações dos componentes.

O Capítulo 5 propõe uma sistemática de projeto de produto modular integrado - através da integração de ferramentas adequadas para atingir o objetivo ambiental - para a fase de projeto conceituai, na qual se estabelecem os requisitos ambientais para a elaboração do projeto modular ambiental.

O Capítulo 6 aplica a sistemática modular integrada na fase de projeto conceitual em um estudo de caso no reprojeto de um aspirador de pó, gerando a concepção da estrutura modular com objetivo ambiental.

O Capítulo 7 apresenta as conclusões do estudo de caso sobre a aplicabilidade da sistemática de projeto para produtos modulares com enfoque ambiental para a fase conceituai, e serão feitas as recomendações para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

QUESTÃO AMBIENTAL E PROJETO DE PRODUTO

2.1. INTRODUÇÃO

[Vieira, 1998] aponta que a máquina que governa o clima global é muito complicada, envolve interações complexas entre oceanos, massas dos continentes, regime de chuvas, correntes marítimas, geleiras, fauna, flora, radiação solar, entre outros fatores. Desregular minimamente uma só das centenas de diminutas peças causa alterações imprevisíveis.

A partir das revoluções industrial, informática, robótica, genética e a mundialização do mercado econômico as alterações ambientais e sociais sofreram mudanças que desregularam o ambiente. Os desequilíbrios ecológicos não ameaçam somente a superfície da terra como também ameaçam os modos de vida que "evoluem" no sentido da deterioração.

Alterações ambientais crescentes provocadas pela poluição e impactos negativos tem levado a questionar a intervenção do ser humano na natureza. Com uma visão abrangente não podemos perceber a questão ambiental separada do crescimento dos recursos técnicos - científicos, dos processos industriais, do aumento do consumo, do crescimento populacional, do mercado econômico global; as relações entre esses fatores e o meio ambiente agem de forma interativa.

O ambiente econômico, tecnológico e ecológico tem experimentado mudanças substanciais durante os últimos anos. Esses fatores são determinantes para manter o equilíbrio ambiental sendo necessárias mudanças radicais para o desenvolvimento sustentável.

Por uma parte tem surgido custos que ocorrem no descarte de produtos usados, gastos na reparação de impactos ao meio ambiente que se acumulam e por

outro lado a limitada disponibilidade de recursos naturais é crescentemente compreendida. Para alcançar o equilíbrio ambiental nas últimas décadas têm surgido políticas, leis e regulamentações que somadas ao crescimento da preocupação ambiental por parte dos consumidores visam proteger o ambiente forçando as corporações industriais a responder aos desafios ambientais.

A indústria reconhece que seu metabolismo que gera bens de consumo tem uma influência no ambiente, esta influência, ou impacto ambiental se estende para todas a fases da vida de um produto, na produção, uso e descarte, assim veremos neste Capítulo que a proteção ambiental e a preservação dos recursos naturais é responsabilidade da indústria. E como essa obrigação dos fabricantes no desempenho ambiental dos produtos tem levado a incorporar assuntos ambientais no desenvolvimento do produto.

2.2. CRESCIMENTO DA CONSCIÊNCIA ECOLOGICA

A preservação ambiental atraiu a atenção ao longo da segunda metade deste século e alcançou importância na conferência da UNCED no Rio de Janeiro em 1992. Fatores como a explosão demográfica, a demanda crescente de riqueza dos países menos desenvolvidos, a diminuição dos recursos naturais e o aumento de poluição tem se tornado assuntos preocupantes para a sociedade global.

[Tibor, 1996] aponta, que a partir dos anos 60 e princípios dos anos 70 a preocupação com a questão ambiental e o desenvolvimento de regulamentações ambientais começaram a instituir um contexto de regras complexas em que o foco inicial estava na conformidade às regulamentações que normalmente aliviavam o controle da poluição no final dos processos e seguiam um foco único, o dos principais estatutos federais.

A legislação-chave nos anos 70 e 80 incluía:

- Clean Air Act (Lei do ar Limpo) de 1970;
- Clean Water Act (Lei da Água limpa) de 1972;
- Resource Conservation and Recovery Act (Lei de Controle das Substâncias Tóxicas) de 1978;

- Comprehensive Environmental Response Compensation and Liability (Lei Abrangente de Resposta, Remuneração e Responsabilidades Ambientais) de 1980;
- Emergency Planning and Community Right - to - Know Act (Lei do Planejamento para Emergências e do Direito de Conhecimento pela Comunidade) de 1986 [Tibor, *op. cit.,*].

Em 1987 como resultado da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento - CMMAD, o "Relatório de Brundtland" estabeleceu as bases do conceito Desenvolvimento Sustentável como sendo "um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e às aspirações humanas" [Nosso Futuro Comum, 1991 *apud* Bello, 1998].

O desenvolvimento sustentável como equilíbrio do crescimento econômico com proteção ambiental, podendo envolver a implementação da prevenção à poluição, a redução do uso de substâncias tóxicas e do desperdício e a desaceleração da destruição de recursos não renováveis.

A meados dos anos 80 até o final da década, o sistema de regulamentação dos Estados Unidos começou a olhar as abordagens focalizadas no final dos processos utilizadas no passado e buscar abordagens preventivas.

- Federal Pollution Prevention Act (Lei Federal de prevenção da poluição, nos EUA), de 1990.

Começou uma abordagem de múltiplos meios à regulamentação, com estratégias que se dirigissem à conformidade às regulamentações em todas as fronteiras de todos os setores industriais [Tibor, *op. cit.,*].

A idéia do desenvolvimento sustentável emergiu em um sentido mais amplo como resultado de acordos firmados na Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente, no Rio de Janeiro, em 1992. Ele se tornou a base sobre a qual os governos e as empresas construirão suas políticas ambientais para o século XXI [*ibidem*].

Na atualidade o paradigma ambiental tem se tornado mais difundido na escala global e o público se tornou mais preocupado com potenciais problemas dos efeitos ecológicos como o aquecimento global e a destruição da camada de ozônio na estratosfera. Grandes acidentes como o de Bhopal, na India, e o Valdez, da Exxon, focalizaram a atenção nos impactos ambientais da indústria e a sua responsabilidade.

Na FIGURA 2.1 é apresentada a maneira de resumo um panorama cronológico do desenvolvimento da preocupação ambiental com os principais acontecimentos que tem levado a questionar a qualidade ambiental.

CRONOLOGIA DA PREOCUPACÃO AMBIENTAL

1954 Albert Shweitzer Populariza a Ética Ambiental
1962 Rachel Carson Livro: Primavera Silenciosa
1968 Fundado Clube de Roma/
Movimento Mundial de Consciência Ecológica
Década de 70 Vazamento de uma Fabrica de Pesticida na Índia
(Desastre Ambiental de Bhopal),
1972 Clube de Roma publica Relatório " Limites do Crescimento".
Reunião de Estocolmo 1era. Grande Conferencia sobre o Meio Ambiente.
1979 Crise do Petróleo.
Década de 80 Explosão de Reator Nuclear na então União Soviética (Chernobyl).
1983 Criada a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. CMMAD
1987 Como resultado do CMMAD surge o Relatório " O nosso futuro comum" ou Brundtland
1989 Acidente com o petroleiro Exxon Valdez provoca vazamento de 42 milhões de litros de petróleo nas costas do Alasca (EUA)
1992 Conferencia das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento UNCED (Rio 92-Eco-92).
1994 Iniciado o Zero Emissions Research Initiative - Zeri pela Universidade das Nações Unidas -UNU.
1996 Norma ISO 14000. Baseada na equação: Um melhor gerenciamento do meio ambiente levará a um melhor desempenho desse meio ambiente, a uma maior eficiência e a um maior retorno dos investimentos.
1998 ONU elege 1998 o ano internacional dos oceanos

FIGURA 2.1 Panorama cronológico da preocupação ambiental

A crescente preocupação ambiental fez com que o paradigma tradicional mude para provar que uma maior atividade econômica pode coexistir com a proteção ambiental. Nos últimos anos, aspectos ecológicos se tornaram mais importantes fazendo que as indústrias estabeleçam um equilíbrio com a economia e a tecnologia.

2.3. O IMPACTO DOS PRODUTOS INDUSTRIAIS

Se bem os acidentes ambientais causam problemas graves ao meio ambiente, a sociedade de consumo e a indústria geradora de produtos para satisfazê-la também provocam impactos. O consumo representa uma enorme demanda sobre o ecossistema, já que representa extração de recursos naturais, energia, e processos produtivos que geram grandes quantidades de lixo e poluição.

[Weule, 1995] diz que a população mundial dobrará nos próximos 100 anos com taxas de crescimento maiores em países do terceiro mundo. Estes países também exigiram a sua parte justa de riqueza, consumo e mobilidade. Por esta razão o número de veículos dobrará pelo ano 2030 assim como o uso de energia e emissões de CO_2.

Com a decorrência do avanço tecnológico, científico, melhoria dos sistemas produtivos, muitos países se tornaram excepcionais em condições de produção. O nascimento e fortalecimento de novos mercados internos promovem o ingresso de mais de 2,5 bilhões de novos consumidores. Segundo o Banco Mundial, até o final do século o número de veículos que transitam nos países do Leste Asiático subirá de 3 para 7 milhões. No Brasil estima-se que a produção anual de automóveis duplique até o ano 2000 [Reis, 1995].

A cultura industrial enfrenta problemas crescentes que concernem a danos ambientais, quantias enormes de desperdício, saúde ocupacional e o crescente uso de recursos não renováveis. Estes problemas junto com o crescimento exponencial de consumo, considerando que, para os próximos 50 anos, calcula-se a população mundial crescerá, para 12 bilhões de pessoas. Sabemos que a capacidade do meio ambiente é limitada, sendo previsível que o incremento da demanda mundial gerará no futuro impactos ambientais ainda mais significativos.

[Earth Summit- Agenda 21. The United Nations Programme of action from Rio, 1993 *apud* Alting, 1995] aponta que um dos resultados da conferência do Rio foi o estabelecimento de um conjunto de ações que a comunidade empresarial precisa levar em consideração para contribuir com o progresso de uma sociedade global e sustentável. O autor continua mencionando que essas ações vão além da obediência com regulamentações ambientais, como incluir a implementação de sistemas de gerenciamento ambiental e projetos de produtos controlados, desenvolvimento de recursos humanos e a transferência de modernas tecnologias para os países em desenvolvimento.

Umas das ações a serem incluídas pela empresa para alcançar uma desempenho ambiental adequado é o do desenvolvimento de produtos. Para [Alting, 1991 *apud* Alting, 1995] a responsabilidade da companhia vai além das suas operações para incluir a responsabilidade pelo desempenho ambiental dos seus produtos ao longo do ciclo de vida: pré-manufatura (matéria prima), manufatura, uso e descarte.

A extração de matéria prima não renovável faz que a previsão de disponibilidade de alguns materiais esteja avaliada para um período de tempo bem curto. As emissões de resíduos e consumo de energia no processo de manufatura são dois fatores críticos que geram impactos ambientais.

[Legarth, 1994 *apud* Alting, 1995] apontam que parte do impacto ao meio ambiente provocando aquecimento global acontece durante a fase de uso de produtos eletrónicos e automóveis que tem um alto consumo de combustíveis fósseis durante a operação. E que tendências similares são vistas em acidificação potencial e toxicidade para o ecossistema.

Outro produto que os autores colocam com elevado consumo de energia é a geladeira, um tamanho médio (300 litros) usa aproximadamente 35 watts em media de energia, em stand-by consome 1watt. Aproximadamente 75% da energia é perdida na transferência de calor e só aproximadamente 25% é usada para um bom esfriamento.

Na fase de descarte de produtos industrias [Boothroyd, 1992] diz que acontece um dos principais problemas e que embora a reciclagem esteja

aumentando, grandes quantidades de desperdício sólido estão sendo depositados em aterros sanitários o que cria poluição e sérios problemas de saúde além de um desperdício inaceitável de recursos.

Países industrializados estão começando a enfrentar as conseqüências do rápido desenvolvimento das últimas décadas. A grande difusão de bens de consumo e o encurtamento de vida do produto deram lugar a uma quantidade crescente de produtos usados que são descartados. [Burke, 1992] aponta que de acordo com o U.S. EPA em Washington D.C., os Estados Unidos produzem 160 milhões de toneladas de lixo dos quais 80% são encaminhados para aterros sanitários muitos dos quais estão atingindo sua capacidade e 1/3 serão eliminados nos próximos cinco anos.

[Jovane et al. ,1993] menciona, que na Alemanha os volumes principais de sucata concernem a carros, eletrodomésticos, bens eletrônicos e que no futuro os computadores entrarão no grupo devido a sua rápida obsolescência. O volume de carros descartados é de 3 milhões de toneladas a cada ano, sendo a maioria das partes de metal usadas de novo, mas de acordo com [Leich, 1991 *apud* Boothroyd, 1992] existem também aproximadamente 130.000 toneladas de plásticos e 270.000 de vidro e madeira. A FIGURA 2.2 mostra as taxas anuais de desperdício de bens de consumo na Alemanha.

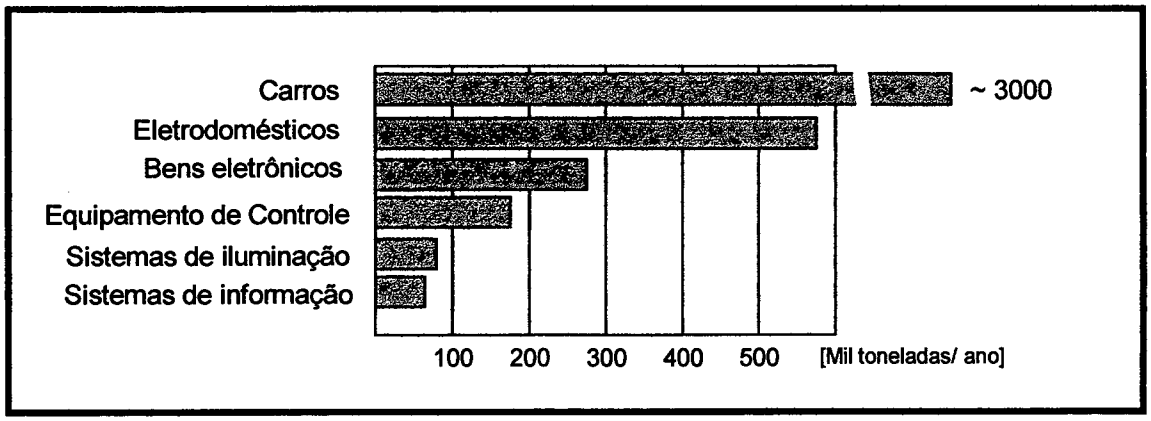


FIGURA 2.2 Taxa anual de desperdício de bens de consumo na Alemanha

Fonte: Jovane et al. 1993

A pesar de contar com técnicas avançadas e uma população atenta aos problemas ambientais, países europeus discutem como eliminar melhor o lixo que

produzem. A maior parte do lixo de Berlim (um total de 1,5 milhão de toneladas, no ano passado) foi armazenada em cinco depósitos localizados em seus arredores. Uma das questões preocupantes é o que fazer com o lixo daqui a algumas décadas, quando a capacidade dos aterros se esgotar. A FIGURA 2.3 descreve o ciclo de descarte do produto.

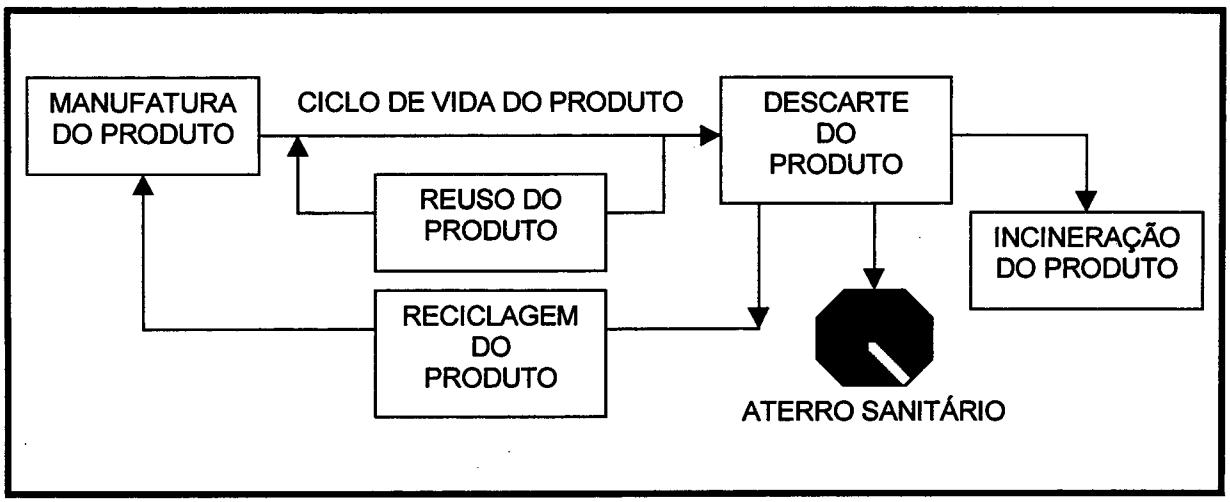


FIGURA 2.3 - Ciclo de descarte do produto. Fonte: Burke, 1992

Um dos problemas mais graves acontece no descarte do produto, ao final da vida útil os bens de consumo são jogados fora como lixo que vai ocupar aterros sanitários, os mesmos que além de causar poluição ressalta [Alting, 1995] estão ficando escassos nos países industrializados, redução de desperdício está se tornando uma área de enfoque no bom desenvolvimento de produtos. O autor ainda lembra que fabricantes estão ficando responsáveis pela fase de descarte dos seus produtos, e pelos custos do aterro sanitário que são embutidos ao consumidor.

[Alting, *op. cit.*,] menciona que há alguns anos a indústria tem se esforçado em propor procedimentos de fabricação limpa com o objetivo de reduzir as emissões provocadas pela produção industrial, se bem que esses esforços têm sido bons o número de produtos assim como o consumo de energia e a produção de resíduos tem aumentado cada vez mais. Ele ainda comenta que existirá a possibilidade de minimizar o impacto global se são considerados os impactos ambientais nos produtos.

2.4. CICLO DE VIDA DO PRODUTO

A noção de ciclo de vida surge da necessidade de análise de todos os fluxos físicos que intervêm no processo gerador de produtos e serviços, o que recobre desde o consumo de matéria prima e de energia consideradas entradas e as poluições e os resíduos como saídas. Como mostrado na FIGURA 2.4

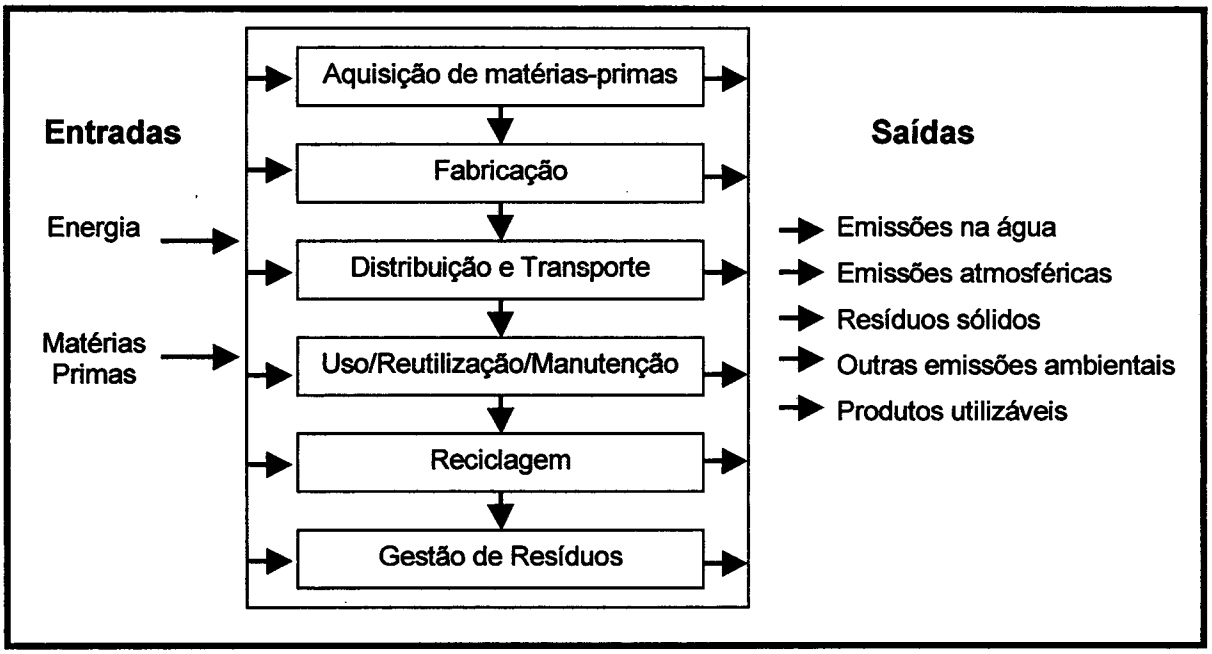


FIGURA 2.4 Processo de avaliação do ciclo de vida. Fonte: Tibor, 1996

Como uma base para a produção ser levada a níveis sustentáveis o conceito de ciclo de vida tem sido identificado como um fator importante. Esta aplicação do ciclo de vida implica que os produtos são planejados pensando em todas as fases do ciclo de vida (extração de matérias-primas produção, distribuição, uso e descarte) com o mínimo impacto ambiental, danos à saúde ocupacional e o mínimo uso de recursos (materiais e energia).

Um dos problemas críticos que a sociedade de consumo enfrenta é a do descarte do produto no final da vida útil que gera inúmeros prejuízos ambientais. Assim as considerações atuais de projeto de produto apontam para um desenvolvimento onde a substituição de materiais, reuso, facilidade de manutenção e desmontagem, além da reciclabilidade seja considerada na fase de planejamento.

Para a aplicação do cicio de vida como base para o desenvolvimento de produtos industriais sustentáveis são necessários métodos e ferramentas de apoio para predizer cargas ambientais, para [Alting, 1995] esses métodos de apoio podem dirigir as fases de desenvolvimento de produto revelando onde podem ser aplicadas melhorias ambientais.

Junto com os requisitos funcionais do projeto do produto, devem ser considerados os efeitos ecológicos ao longo do ciclo de vida dos produtos. É importante que o ciclo de vida dos produtos, desde a entrada de materiais, consumo de energia, produção, uso e reciclagem dos produtos usados ou a retirada de materiais de resíduo seja implementado aplicando fatores econômicos e fatores de avaliação tecnológica e ecológica. O ciclo de vida dos produtos tem que ser avaliado.

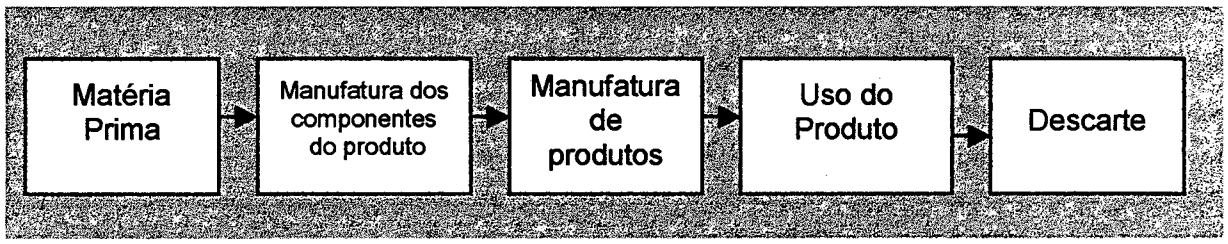


FIGURA 2.5 - Ciclo de vida do produto

Para [Weule, 1993] a análise do ciclo de vida é a base para a avaliação ecológica de produtos. Ele menciona que para alcançar o eco-equlíbrio é preciso considerar todos os fluxos de materiais e energia assim como as influências de emissões no meio ambiente. Coloca ainda que na atualidade não existem modelos de avaliação que contenham todos os parâmetros necessários e a informação relevante.

2.5. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (LCA) DO PRODUTO

A análise do ciclo de vida possibilita quantificar os impactos ambientais, é considerada a base de avaliação ecológica dos produtos, tendo que considerar materiais e fluxos de energia como também emissões de estado líquido, sólido, gasoso no ambiente.

[Horst e Zweers, 1993] destacam que em sua forma clássica o método de LCA é levado a cabo em três fases:

- Na fase do inventário são estabelecidos dados de todos os processos em termos de consumo de energia, uso de matérias primas e as emissões produzidas;
- Na fase de classificação, estes dados são traduzidos nos efeitos ambientais que eles causam como o CO^2 que contribui ao efeito estufa;
- Na fase de avaliação tenta-se chegar a um resultado sobre a poluição relativa ou absoluta causada pelo produto.

Uma das metodologias provê a classificação e determina um fator para um número de fatores ambientais. Pode se obter informação de maneira quantitativa sobre o impacto ambiental específico. Permitindo uma quantificação e uma avaliação objetiva.

A análise do ciclo de vida é uma base para a melhoria do processo de desenvolvimento de produto facilitando determinar os impactos ambientais ao longo da vida do produto (do berço ao túmulo) permitindo fazer escolhas sobre a estrutura, materiais, processos e descarte.

O LCA é uma ferramenta sistemática de avaliação dos impactos ambientais de um produto ou serviço para construir um inventário de entradas e saídas, estabelecer uma avaliação quantitativa e qualitativa daquelas entradas e saídas e identificar os aspectos mais significativos do sistema e assim poder visualizar as conseqüências ambientais dessas escolhas; é portanto uma ferramenta holística que auxilia no desenvolvimento de um produto com potenciais melhorias ambientais.

2.6. PROJETO DE PRODUTO

O produto decorre de uma alternância de processos que se iniciam no desenvolvimento do produto com base nos objetivos da empresa numa procura sistemática e seleção de idéias para elaborar concepções de produtos que realizam as funções especificadas bem como atender aos requisitos formulados.

[Back, 1983] identifica o desenvolvimento do produto como uma atividade orientada para o atendimento das necessidades humanas, principalmente daquelas que podem ser satisfeitas por fatores tecnológicos de nossa cultura. Um processo que utiliza ferramentas para desenvolver um plano que quando totalmente executado, irá satisfazer uma necessidade.

[Juran, 1992] conceitua projeto de produto como um processo criativo, baseado em grande parte na perícia tecnológica ou funcional, onde os resultados finais são procedimentos, especificações, fluxogramas, planilhas e, especialmente, metas para as características dos produtos.

O desenvolvimento de projeto pode então ser considerado como um processo de transformação de informações, entre a informação de entrada (requisitos e necessidades) e a saída, resultando os documentos de projeto com as soluções funcionais, de design (forma, tamanho, aparência), de qualidade, segurança, configuração ergonômica, embalagem, e ambiental entre outras.

2.6.1. PROJETO FATOR FUNDAMENTAL PARA A COMPETITIVIDADE

Segundo [Sell, 1997] para explorar convenientemente as diversas mudanças que afetam as empresas é preciso criar soluções em forma de produtos capazes de garantir a competitividade e a sobrevivência da empresa.

[Dixon, 1991 *apud* Back, 1997] destaca que o desempenho competitivo de uma indústria depende de um conjunto de fatores que podem ser subdivididos em fatores internos, fatores estruturais e sistêmicos. Sendo que os internos são aqueles que estão sob a esfera de decisão da empresa. Incluem os estoques de recursos acumulados pela empresa, as vantagens competitivas que possuem e a sua capacidade de ampliá-las, entre eles estariam a capacidade tecnológica e produtiva; a qualidade e produtividade dos recursos humanos; o conhecimento do mercado e a capacidade de se adequar às suas especificidades; a qualidade e a amplitude de serviços pós-vendas; as relações privilegiadas com usuários e fornecedores.

Os fatores estruturais seriam aqueles que mesmo não sendo controlados pela empresa, de certa forma se encontram sob sua influência e caracterizam o ambiente competitivo que ela enfrenta, estes têm relação às características dos mercados consumidores, à configuração da indústria e a sua concorrência. E os

fatores sistêmicos são os macroeconômicos, político-institucionais, regulatórios, infra-estruturais, e sociais. A FIGURA 2.6 mostra os fatores determinantes.

O autor ressalta que em relação aos fatores internos numa empresa de produtos, o fundamental é a qualidade dos mesmos, a mesma que tem hoje um conceito mais abrangente como será abordado mais adiante, onde a qualidade do produto deve estar presente em todos os aspectos do seu ciclo de vida.

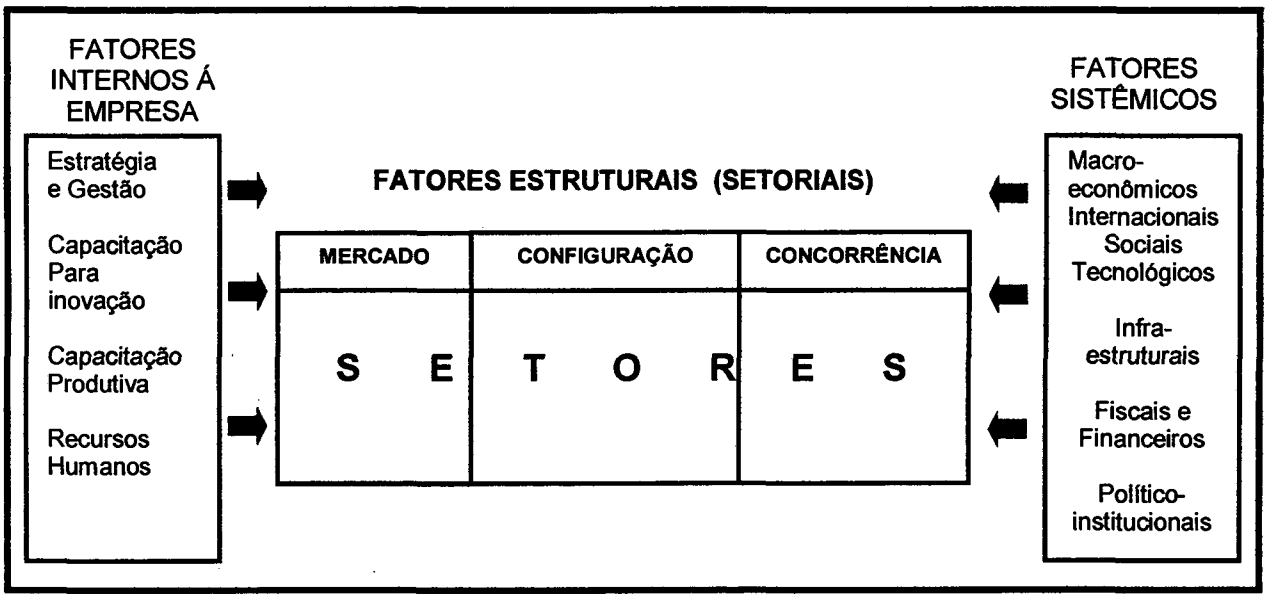


FIGURA 2.6 Fatores determinantes da competitividade da indústria

Fonte: Dixon, 1991 *apud* Back e Forcellini, 1997

Dentro do processo dinâmico e competitivo é necessário o estabelecimento de uma estratégia que supere as dificuldades encontradas. [Porter, *apud* Sell, 1997] considera que existem três abordagens genéricas bem sucedidas que podem ser usadas para enfrentar as forças competitivas das outras empresas: liderança no custo total, diferenciação e enfoque.

A estratégia de diferenciação consiste em criar valor ao cliente. Nesse sentido, a diferenciação do produto pode estar na função, no design e na qualidade. A qualidade é, certamente, um dos fatores mais importantes para a competitividade.

Movimentos mais recentes, buscam que a garantia da qualidade, tenha um conceito mais abrangente, incorporando, à preocupação e às ações voltadas para a qualidade ambiental em todas as atividades da empresa

[Alting, 1995] comenta que com a expansão da contaminação, as iniciativas de prevenção no setor governamental e o surgimento de defensores "verdes" do consumidor, a indústria está sob uma crescente pressão para avaliar as mudanças inerentes entre os parâmetros de fabricação tradicional relacionados coma taxa de produção, qualidade, flexibilidade e os novos paradigmas de redução de energia e resíduos.

Os produtos ambientalmente limpos são vitais para serem competitivos no futuro, isto é, o produto deve ter qualidade em todos os aspectos do seu ciclo de vida. E é na fase inicial de projeto que devem ser considerados os aspectos de boa qualidade do produto.

Na etapa de projeto, os requisitos do produto ainda estão em andamento. Uma vez que os projetos estejam concluídos, as características e o funcionamento dos novos produtos estarão definidos e com eles vários elementos cruciais que afetam o produto final.

Várias pesquisas apontam, como as decisões durante a fase de projeto comprometem o produto final, assim, [Beitz, 1991 *apud* Sell ,1997] menciona que 80% dos defeitos do produto decorrem de falhas no seu planejamento e desenvolvimento, e que 60% das paradas e falhas durante o uso do produto têm sua origem no desenvolvimento incompleto ou defeituoso do sistema. [Yukimura, 1991] comenta que a experiência tem mostrado que as fases vitais na obtenção de produtos de qualidade são a fase de pesquisa, projeto e desenvolvimento.

Por sua vez, [Keldmann, 1995] faz notar que as decisões na fase de projeto, tem um efeito elevado nas propriedades do produto, como a do custo, onde é, que as decisões determinam 70-80% do custo de produto. Ele considera também, que é esperada a aplicação da mesma regra aos efeitos ambientais.

[Alting e Legarth, 1995] publicaram um estudo abrangente sobre projeto para o ciclo de vida. Diversas pesquisas em engenharia de ciclo de vida e engenharia simultânea revelaram que as decisões mais importantes são tomadas nas fases de projeto.

[Keldmann, *op. cit.,*] menciona, que não tem sido levado o aspecto ambiental no nível de projeto, e que modelos de análise de ciclo de vida apenas são úteis ao especialista ambiental e não para quem desenvolve produtos.

O mesmo autor considera, que o projeto de produto orienta o ciclo de vida do produto, através das diversas decisões de projeto, como por exemplo na definição do principio funcional, princípio estrutural e na escolha de materiais.

Na fase de desenvolvimento é possível detectar os problemas ambientais e então projetar produtos, ambientalmente corretos, voltados para a redução da poluição ambiental, tanto na fabricação do produto, como no seu funcionamento ao longo da sua vida útil e possibilitando separar os componentes (peças) e submontagens (conjunto de peças) permitindo que a reutilização, recuperação e/ou reciclagem do produto seja possível.

2.7. CONCLUSÕES

A cada três ou quatro anos, o equivalente à população da Comunidade Européia, é agregado à população mundial. O crescimento populacional desordenado, somado ao acelerado processo de inovação tecnológica, vêm acarretando crescimento exponencial na atividade industrial. O efeito combinado desses dois fatores, é a causa maior dos problemas ambientais.

Com a expansão da poluição, as iniciativas de prevenção por parte dos governos e o surgimento de consumidores "verdes", a indústria está sob uma pressão crescente, para desenvolver mudanças nos parâmetros de fabricação tradicional, no volume de produção, na qualidade e na adequação aos novos paradigmas de redução de energia e resíduos entre outros.

Um dos problemas críticos que a sociedade de consumo enfrenta é a do descarte do produto no final da vida útil, que gera inúmeros prejuízos ambientais. Para solucionar o desperdício criado pelo descarte, a indústria precisa estimular a atividade de projeto de produto, já que tem um efeito bastante significativo no sistema industrial, pois se encontrando no início do processo produtivo, as decisões tomadas nesta fase, interferirão em todas as fases seguintes do ciclo de vida do produto: (pré-manufatura (matéria prima), manufatura, uso e descarte.

Assim, as considerações de projeto de produto, devem apontar para um desenvolvimento, onde a substituição de materiais, reuso, facilidade de manutenção e desmontagem, além da reciclabilidade, seja considerada na fase de planejamento.

Conclui-se daí, que a atividade industrial deve integrar o assunto ambiental, considerando impactos ambientais do produto ao longo do seu ciclo de vida, obtendo dados que permitam na fase de desenvolvimento de projeto criar melhorias nos produtos industriais, e minimizando os efeitos nocivos para o meio ambiente.

CAPÍTULO 3

FERRAMENTAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DE PRODUTO ECOLOGICAMENTE CORRETO

3.1. INTRODUÇÃO

As exigências pelos benefícios das indústrias modernas, como um padrão de vida mais alto e mais bens de consumo, vêm aumentando com o crescimento populacional. Um dos problemas criado continuamente pelo consumo crescente de produtos industriais vem significando em uma crescente preocupação pela proteção ambiental, saúde profissional e utilização de recursos estimulando muitas novas atividades no setor industrial para vencer os problemas ecológicos.

Deve-se ter em mente que a distância entre a ecologia, economia e tecnologia tem ficado cada vez mais curta, as empresas vêm percebendo que negligenciar a questão ambiental nos sistemas produtivos vai repercutir nos custos e na competitividade. Existem custos relacionados às regulamentações associadas com problemas ambientais, como multas e sanções por infrações. Assim as empresas precisam começar a buscar formas mais eficazes para lidarem com as questões ambientais.

O descarte do produto como foi comentado no Capítulo 2 é um problema crítico, o descarte a sua vez enfrenta um problema sério que é a da separação do produto, já que eles não são projetados para uma desmontagem fácil, sendo muito difícil desmontar um produto e separar os materiais. As indústrias de reciclagem, enfrentam hoje uma necessidade de crescer rapidamente para atender as necessidades da sociedade. As indústrias por outro lado sentem o desafio de incorporar um setor de reciclagem dentro da empresa ou de incentivar o crescimento das empresas de reciclagem para que possam atender a seus requerimentos.

Com o abordado no Capítulo 2 a fase de desenvolvimento de projeto é um fator fundamental para a competitividade da indústria, assim o planejamento do produto deve incorporar a questão ambiental simultaneamente desde a fase de projeto conceituai até a fase de projeto detalhado, considerando que produtos ecologicamente corretos que não exerçam qualquer impacto ambiental, que sejam passíveis de reciclagem e reutilização são os objetivos da indústria de hoje.

O enfoque deste Capítulo é descrever sucintamente os métodos de projeto de produtos para resolver os muitos problemas relacionados a todas as fases de ciclo de vida (desenvolvimento, produção, distribuição, uso descarte e reciclagem). Através do levantamento de ferramentas de projeto que procuram alternativas ambientais serão obtidas regras e diretrizes que permitam guiar o projeto de produto afim de desenvolver um produto de fácil desmontagem, reuso e reciclagem, reduzindo desta forma seu impacto ambiental.

3.2. FERRAMENTAS DE PROJETO

Diversas técnicas, princípios, procedimentos e ferramentas têm surgido para adequar o produto para uma determinada etapa do processo de desenvolvimento, uma determinada qualidade, assim como para responder as diversas influências que afetam o processo de desenvolvimento de produto, como mostrado de forma esquemática na FIGURA 3.1

Dado que um dos objetivos específicos da dissertação é conhecer as ferramentas e técnicas auxiliares para o projeto de produto ambiental, das muitas ferramentas encontradas na bibliografia, propõe-se tratar exclusivamente daquelas que contribuem para a obtenção da qualidade e redução do impacto ambiental do produto. Assim dentre elas, destacam-se:

- **DFQ** (*Design for Quality*) **Projeto para a Qualidade**
- **QFD** (*Quality Function Deployment*) Desdobramento da Função Qualidade também chamada de **Casa da Qualidade.**
- **DFE** (*Design for Environment*) **Projeto para o Meio Ambiente**
- **DFLC** (*Design for Life Cycle*) **Projeto para o Ciclo de Vida**
- **DFD** (*Design for disassembly*) **Projeto para Desmontagem**

- **DFR** (*Design for Reciclability*) **Projeto para Reciclagem**

Dentro desses conceitos existe uma linha de pensamento onde o projeto deve ser elaborado tendo por preocupação a qualidade, as fases por onde passa o produto, isto é, desde o planejamento do produto até o descarte, o que inclui a preocupação com o meio ambiente.

A metodologia de projeto e as diversas técnicas têm sido muito úteis para auxiliar na fase de desenvolvimento, garantindo que o produto atinja o nível de qualidade desejado.

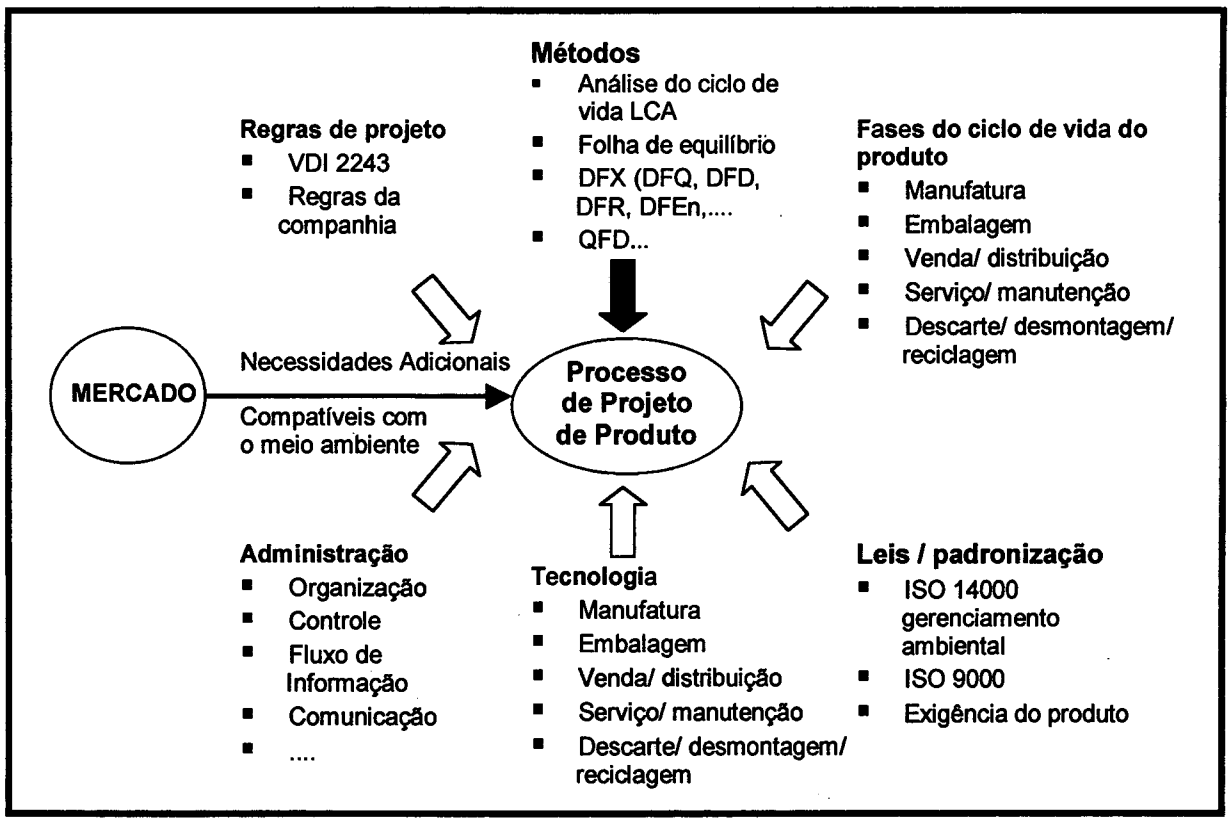


FIGURA 3.1 Influências essenciais no processo de projeto de produto

Fonte: Adaptada de Züst et al. 1995

3.2.1. DFQ (*Design for Quality*) PROJETO PARA A QUALIDADE

[Mørup, 1993] menciona que a qualidade é o objetivo mais importante a ser alcançado para as empresas que querem sobreviver no mercado competitivo. O autor destaca que as empresas Japonesas alcançaram qualidade nos seus produtos e serviços porque deram maior atenção nas fases de desenvolvimento e projeto sendo que essa etapa tem maior influência na qualidade do produto final.

O projeto para a qualidade é um processo sistemático de maximização da qualidade que deve iniciar-se no planejamento e desenvolvimento dos produtos e estender-se por todas as operações relacionadas com o ciclo de vida do produto. [Sell, 1997] identifica que produtos com qualidade se caracterizam por:

- Executarem de forma confiável e uniforme as funções requeridas, durante seu tempo de vida, previsto no projeto
- Atenderem aos desejos especiais dos clientes
- Apresentarem boas características de uso, atendendo a requisitos ergonômicos.
- Garantirem um nível aceitável de segurança ao longo do ciclo de vida do produto (desde a fabricação até o descarte do produto).
- Apresentarem embalagem simples, prática, atraente
- Serem de manutenção e limpeza fácil
- Custo aceitável, apresentando relação ótima de custo/benefício, tanto na aquisição quanto durante o uso

O DFQ revela a relação de interdependência entre as diferentes operações relacionadas com o ciclo de vida do produto. Garantir qualidade na fase inicial do projeto permite estender a qualidade aos outros processos (manufatura, montagem, teste, embalagem, transporte, vendas, manutenção, descarte).

Os conceitos da qualidade concentrados no desenvolvimento de produto tiveram uma grande contribuição na metodologia de Geinichi Taguchi, que se baseia na procura da diminuição de uma das principais fontes causadoras da baixa qualidade, como é a variabilidade nas suas funções.

Neste trabalho de pesquisa não de pretende fazer um estudo do método Taguchi, procura-se somente não deixar de destacar a importância da filosofia que procura produtos e processos robustos, ou seja, produtos que não variam com o ambiente.

A variabilidade é um elemento inerente dos sistemas (produtos e processos) e relevante em relação a qualidade. [Yukimura, 1991] aponta neste

sentido, que um produto de boa qualidade tem um desempenho consistente, dessa maneira, quanto menor o desvio do desempenho do produto, melhor a qualidade deste.

Uma das fontes que Taguchi aponta como causadores de variabilidade é a deterioração, a mesma que está relacionada com aspectos de tempo e às cargas ou esforços aos quais são submetidos os produtos durante sua vida funcional, fazendo com que os valores dos componentes individuais mudem com o tempo, levando à deterioração do desempenho do produto. Em vista disto, é preciso reconhecer que na fase projeto tem que ser considerados a variação do desempenho e deterioração do produto.

3.2.1.1. CONFIABILIDADE E MANTENABILIDADE

Parâmetros de íntima relação com a qualidade de um produto são a confiabilidade e mantenabilidade. Em quanto a confiabilidade é definida basicamente como a habilidade de um sistema em desempenhar uma função requerida, sob condições estabelecidas, por um período determinado. A mantenabilidade define-se como, uma característica de projeto e instalação expressada com a probabilidade, de que um item será retido ou restaurado o mais fácil e rapidamente.

Para [Blanchard e Fabrycky, 1981] os sistemas de processos de engenharia envolvem detalhes funcionais e requisitos de projeto, tendo como objetivo a realização da correta integração e o equilíbrio de vários parâmetros de projeto, tais como, desempenho, confiabilidade, mantenabilidade, produtividade, viabilidade econômica e outros fatores. Os autores consideram que a evolução da mantenabilidade como uma característica inerente do projeto, deve ser parte integral do processo total de desenvolvimento.

Dessa forma [Blanchard e Fabrycky, *op. cit.,*] definem mantenabilidade como a habilidade de um componente para ser mantido, uma vez que manutenção constitui uma série de ações a serem feitas para restaurar ou manter o componente em um estado operacional eficiente. Dessa forma os autores consideram a mantenabilidade um parâmetro de projeto e a manutenção um resultado do projeto.

Em essência, mantenabilidade junto com confiabilidade e outros parâmetros importantes de projeto devem ser considerados durante todo o ciclo de

vida do sistema. Porém, é particularmente relevante durante as fases iniciais do desenvolvimento de projeto. Requisitos de mantenabilidade são definidos no projeto conceituai como parte dos requisitos do sistema operacional.

Uma política de manutenção poderia mudar o descarte de sistemas inteiros quando a falha acontece, pela reparação completa do sistema ou pela remoção e troca de uma componente. A FIGURA 3.2 mostra esquematicamente a manutenção no ciclo de vida do produto.

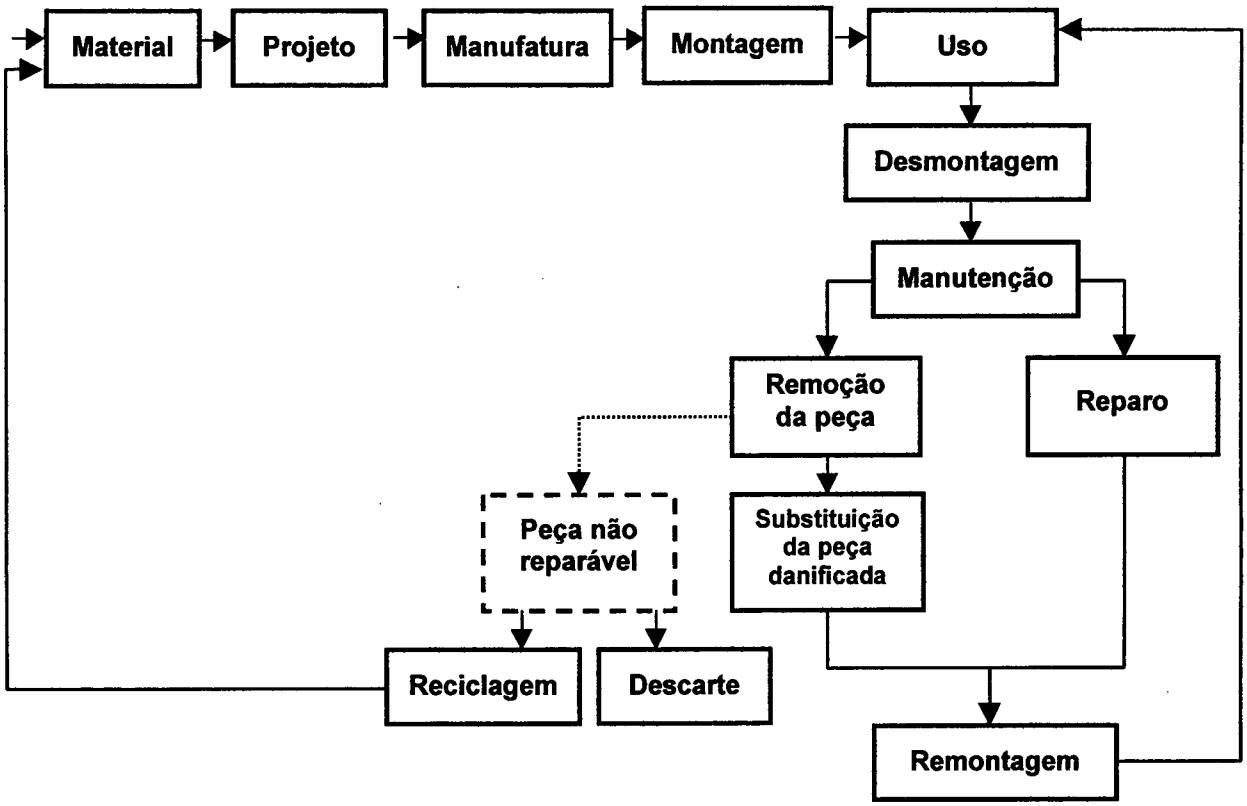


FIGURA 3.2 Manutenção no ciclo de vida do produto

Para serem alcançadas as características de confiabilidade e manutenibilidade na fase de projeto, é necessário que se façam diferentes considerações, cobrindo todo o ciclo de vida do produto, de maneira a garantir produtos confiáveis, de fácil e eficiente manutenção. Alguns critérios para obter a confiabilidade e manutenibilidade do produto são os seguintes:

- Escolha correta da tecnologia de fabricação desde o início do processo

- Procurar a maior simplicidade do produto (reduzir número e complexidade das partes)
- Normalização da partes (elementos normalizados possuem uma tecnologia de elaboração estável, normas de qualidade estabelecidas, assim como normas ambientais)
- Escolha dos materiais, componentes, elementos, produtos semi-acabados e acabados, considerando a qualidade.
- Estabelecer uma configuração funcional do produto
- Revisão do projeto.

Projeto para a qualidade no ambiente de desenvolvimento de produtos, significa fazer o produto com todas as características que satisfazem os consumidores, sendo estes internos e externos.

3.2.2. QFD (*Quality Function Deployment*) CASA DA QUALIDADE

A solução das necessidades dos clientes exige o desenvolvimento de um grande número de características para os produtos. Para isso, é necessária uma abordagem sistêmica e estruturada de suporte que permite o trabalho com todas as combinações de dados.

Uma dessas estruturas desenvolvida pelos japoneses para permitir a percepção do maior número possível de falhas na fase mais precoce do processo é o QFD (Quality Function Deployment) Casa da Qualidade que foi formalizada pela Mitsubishi Co. E posteriormente seu conceito foi modificado pela Toyota e seus fornecedores. A essência desta ferramenta é uma série de matrizes interligadas.

[Mirshawka e Mirshawka Jr, 1994] comentam que as organizações que tem usado o QFD Casa da Qualidade para desenvolver seus produtos obtém como resultados: Redução de custos da ordem de 50%, redução do tempo de desenvolvimento de 33% e aumento da produtividade em até 200%

O QFD foi definido por [Hauser e Clausing *apud* Yukimura ,1991] como uma classe de mapa conceitual que fornece meios para o planejamento e a comunicação interfuncional. Constituindo hoje uma ferramenta obrigatória no desenvolvimento de produtos.

[Fortuna, *apud* Yukimura, *op. cit.*,] escreveu que o QFD "é um meio sistemático de assegurar que a demanda do consumidor ou mercado (requisitos, necessidades ou desejos) seja traduzida de forma precisa em especificações técnicas relevantes e ações, através de cada estágio do ciclo de projeto e desenvolvimento do produto".

A essência desta técnica quando usada para produtos industriais, é a de construir uma matriz onde os requisitos dos clientes e os requisitos de projeto são submetidos a uma análise de relação, permitindo o aprofundamento nas vontades dos clientes de forma a traduzi-las em características mensuráveis de projeto.

Na FIGURA 3.3 é mostrado um esquema geral da casa da qualidade, mostrando graficamente os diversos setores.

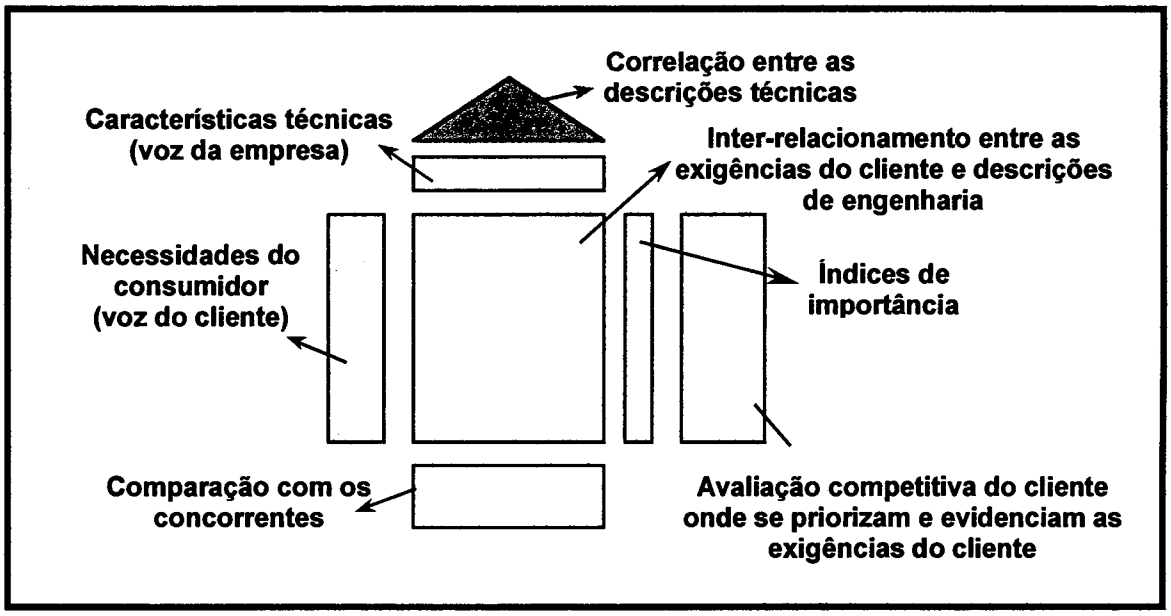


FIGURA 3.3 Esquema geral da Casa da qualidade (QFD)

Fonte: Mirshawka e Mirshawka Jr, 1994

Esta metodologia permite apresentar, em conjunto, dados provenientes de muitas fontes, como por exemplo: expectativas específicas dos clientes; levantamentos genéricos com os clientes; análise de competitividade no mercado; conhecimento de engenharia; capacidade de fabricação; considerações sobre custos e outras. Permite, também, avaliar a probabilidade de falha e a identificar as mudanças que podem ser feitas antes de serem passadas para o papel.

Um dos objetivos da casa da qualidade, talvez o mais importante, é o de identificar os requisitos de projeto verdadeiramente importantes, em função do seu relacionamento com as necessidades do usuário. Os requisitos com forte relacionamento passarão então a se denominar especificações de projeto e serão os que decidirão as características principais do produto.

As recomendações para construir a matriz da Casa da Qualidade são basicamente um conhecimento das suas convenções, pois como vimos na FIGURA 3.3 a matriz possui vários setores com objetivos diferentes.

A construção da Casa da Qualidade inicia-se com os requisitos dos usuários que podem ser classificados em grupos segundo conceitos gerais do consumidor ou pelo ciclo de vida do produto. A FIGURA 3.4 mostra o setor das necessidades do consumidor.

Necessidades do consumidor		
	Produção	"o que"
	Montagem	"o que"
	Função	"o que"
	Uso	"o que"
	Manutenção	"o que"
	Segurança	"o que"
	Descarte	"o que"
	Ambiental	"o que"

FIGURA 3.4 Necessidades do consumidor

Para chegar a uma solução do problema de atender as necessidades do cliente, no setor das características técnicas também conhecidas por muitos autores como requisitos da qualidade, situam-se os requisitos de projeto, que são características dotadas de uma métrica; as mesmas possuem setas que indicam que um determinado requisito deve ser maximizado ou minimizado. Nessa parte da construção do QFD é necessário o conhecimento coletivo da empresa e a multidisciplinariedade. A FIGURA 3.5 apresenta o setor das características técnicas.

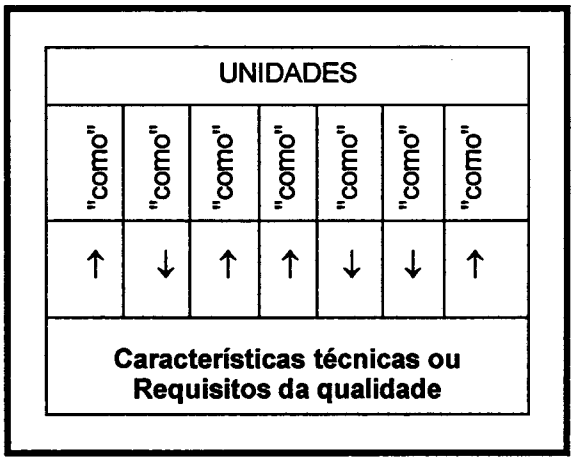


FIGURA 3.5 Características técnicas ou requisitos da qualidade

Tendo esses dois elementos, as necessidades do consumidor e os requisitos da qualidade, procede-se a preencher o corpo da Casa da Qualidade, no setor de inter-relacionamento entre as exigências do cliente e descrições de engenharia. O inter-relacionamento pode ser feito através de símbolos. A FIGURA 3.6 mostra o corpo da Casa da Qualidade e os símbolos que podem ser usados no inter-relacionamento.

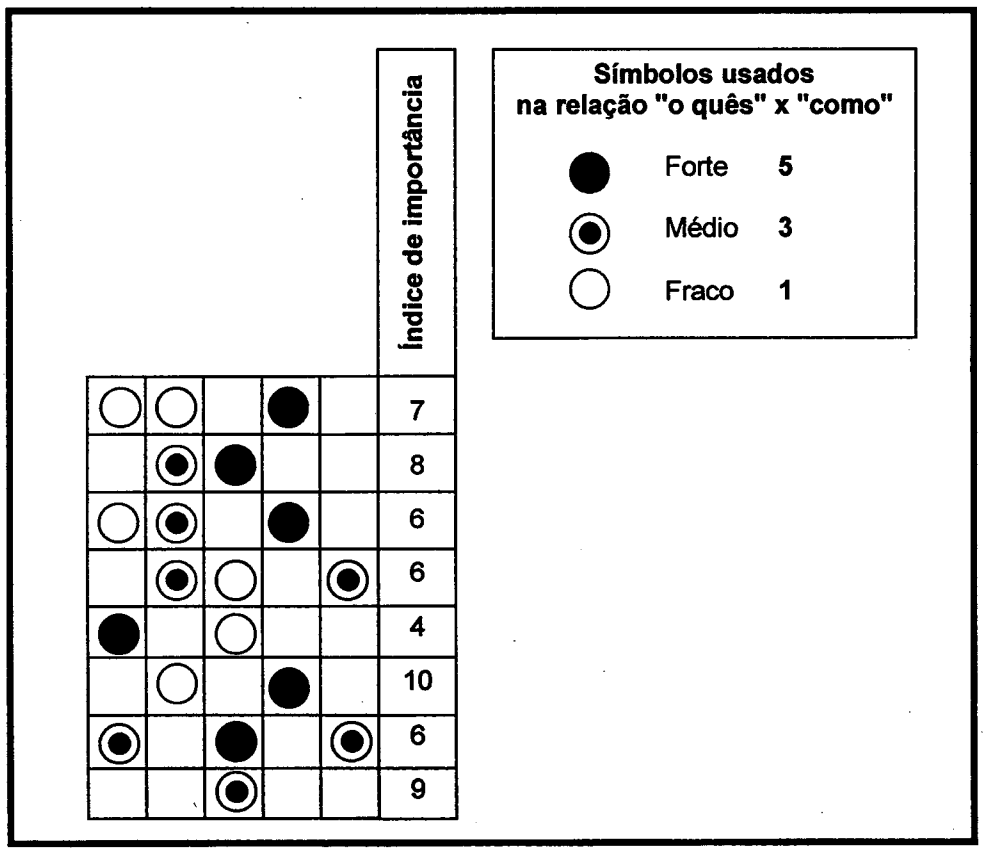


FIGURA 3.6 Corpo da Casa da Qualidade

O preenchimento do corpo é um passo fundamental na construção do QFD. Na FIGURA 3.6 também é mostrado o setor de índices de importância onde os requisitos do usuário são valorizados de acordo com sua importância.

No setor da avaliação competitiva que se encontra no lado direito da FIGURA 3.3, são colocados os resultados de avaliações de consumidores para produtos dos concorrentes. Nesta etapa de construção da Casa da Qualidade é possível mostrar a posição de cada produto frente a seus concorrentes, dessa forma, auxilia na toma de decisões estratégicas para alcançar o nível de competitividade necessário. A FIGURA 3.7 mostra a avaliação do mercado.

Concorrência				Somatório / n
Produto 1	Produto 2	Produto 3	Produto 4	
5	5	3	1	3.5
4	3	2	5	3.5
5	4	1	3	3.2
2	5	3	2	3
4	4	1	3	3
3	5	2	1	2.7
5	4	3	1	3.2
3	5	2	1	3.2

FIGURA 3.7 Avaliação competitiva da concorrência

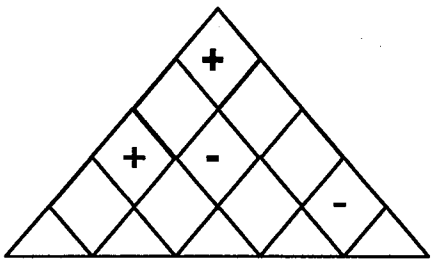
No setor de comparação com os concorrentes, se realiza uma quantificação das relações entre os requisitos estabelecendo-se uma ordem de importância. O valor de cada relacionamento marcado com símbolo na FIGURA 3.6 é multiplicado pelo valor do consumidor. Consideram-se também os valores dos concorrentes.

A pontuação obtida é ordenada considerando o primeiro lugar ao requisito de projeto de maior valor. A FIGURA 3.8 mostra o setor de comparação dos concorrentes.

Produto 1					
Produto 2					
Produto 3					
Nosso produto					
Valor de importância					
Classificação por importância	1°	3°	4°	5°	2°

FIGURA 3.8 Comparação dos concorrentes e valor de importância dos requisitos

O telhado da Casa da Qualidade é uma matriz de inter-relação entre as características técnicas ou requisitos da qualidade. Cada característica técnica é confrontada com as outras características, identificando seus graus de dependência. Esta relação pode ser positiva ou negativa e representada por símbolos. A FIGURA 3.9 apresenta a correlação entre as descrições técnicas.



Símbolos usados na relação "como" x "como"

+ Fortemente positivo
+ Positivo
— Negativo
— Fortemente Negativo

FIGURA 3.9 Correlação entre as descrições técnicas.

Cada aplicação da Casa da Qualidade deve ser tratada particularmente, assim sendo, entre as especificações de projeto pode se dar ênfase no atributo ambiental/descarte, e possibilitar desenvolver um produto que integre todos os outros atributos importantes do produto (função, uso, produção/montagem, estética,

manutenção, custos, segurança, ergonomia) que atendam as necessidades levantadas.

[Back e Forcellini, 1997] enfatizam que a ferramenta do QFD é um bom método para se obter uma grande quantidade de dados sumarizados, de razoável confiabilidade e prontos para serem utilizados no processo de tomada de decisões pela equipe envolvida no desenvolvimento do produto.

[Fonseca, 1996] menciona que existem diferentes procedimentos de trabalhar a casa da qualidade, existindo o programa em ambiente windows assim como outros programas e procedimentos manuais. Isso torna o método fácil de usar e rápido na obtenção dos dados.

Como foi aprestando, os dados gerados por este método oferecem uma hierarquização dos requisitos de projeto que são a base para a elaboração das especificações de projeto. Dessa forma a Casa da Qualidade é uma ferramenta muito importante que permite lidar com as necessidades dos diversos clientes possibilitando incluir itens de qualidade ambiental, meio ambiente, manutenção de forma que os requisitos de projeto norteiem o desenvolvimento de um produto que não provoque impacto ao meio ambiente.

Isto vem ao encontro de [Olesen, 1997] que destaca o desenvolvimento de um conceito novo levantado por uma companhia dinamarquesa que interligou na fase de projeto o QFD (*Quality Function Deployment)* Casa da Qualidade e LCA (*Life Cycle Assessment)* Análise do Ciclo de Vida.

O novo método QEFD (*Quality and Environment Function Deployment*) Casa da Qualidade e Meio Ambiente propõe focalizar nas propriedades do produto minimizar os impactos ambientais e aumentar a sua competitividade.

O resultado da pesquisa apontou que as preocupações ambientais tem semelhança com as preocupações de qualidade e que devem ser tratadas simultaneamente na fase de projeto.

O QEFD consiste em quatro passos onde QFD e LCA são interligados e durante o qual o projeto se desenvolve através do estabelecimento das necessidades do usuário através da análise de dispositivos existentes, experiências

das necessidades do usuário, quantificação dos desejos do cliente, definição do objetivo de projeto.

Assim, o presente trabalho pretendo adotar a ferramenta da Casa da Qualidade num método híbrido que inclua ferramentas ambientais permitindo delinear os passos para alcançar os objetivos ambientais no desenvolvimento de produto. No Capítulo 5 é mostrada a Casa da qualidade em ambiente windows que será usada neste trabalho.

3.2.3. DFE (*Design for Environment*) PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE

O DFE Projeto para o meio ambiente faz parte de mais um processo de "*design for X*" DFX onde o X representa uma característica do produto que é maximizada, assim o DFE considera que os atributos ambientais de um produto como reciclabilidade, desmontagem, manutenção, reutilização devem ser tratados como objetivos de projeto.

Considerando que as escolhas as quais os projetistas fazem irão determinar o impacto ambiental durante o ciclo de vida do produto, ou seja, desde a aquisição da matéria-prima, manufatura, uso, reuso até o descarte o DFE apoia o desenvolvimento sustentável empreendendo esforços para eliminar ou minimizar a poluição.

Os produtos e processos afetam o meio ambiente, originando emissões aérea, líquida ou sólida que são descarregadas no solo, na água ou no ar. Os projetistas podem ajudar a eliminar esses impactos avaliando melhor o desempenho ambiental de seus produtos e propondo soluções aos interesses ambientais ou sintetizando as melhorias que, atualmente, incluem interesses ambientais.

Para projetar, eliminando ou minimizando a poluição, tem que se pensar no ciclo de vida do produto; analisando desde a compra de matérias-primas, a fabricação, o transporte, o uso, o reuso, a manutenção, a reciclagem, a gestão de rejeitos e/ou os sistemas de fornecimento de energia.

Algumas diretrizes consideradas para projetar para o meio ambiente, baseada na literatura consultada são:

- Desenvolver processos alternativos de fabricação

- Considerar os impactos ambientais dos materiais
- Substituir os componentes tóxicos
- Considerar o descarte do produto
- Facilitar a reciclagem
- Facilitar a desmontagem
- Reutilizar o produto e/ou seus componentes
- Utilizar materiais reciclados
- Reduzir a utilização de recursos naturais e de energia
- Utilizar tecnologias apropriadas e limpas
- Utilizar materiais (plásticos/metais) recicláveis
- Identificar os componentes para facilitar a desmontagem e posteriormente a reciclagem
- Aumentar o ciclo de vida do produto

O ponto chave do DFE é a que o planejamento tem que ser orientado ao sistema e não somente ao produto, já que os melhores resultados acontecem quando são considerados todas as operações relacionadas com o ciclo de vida do produto. O conceito ambiental então não são somente aspectos do produto mas a relação entre o produto e os sistemas da fase de vida do produto.

3.2.4. DFLC (*Design for Life Cycle*) PROJETO PARA O CICLO DE VIDA

Para [Jovane, et al. 1993] o desenvolvimento de novos produtos raramente considera questões ambientais, o autor destaca que custos de descarte são embutidos, pagos pelos consumidores através de taxas. Porém no futuro a legislação ambiental vai forçar uma mudança no desenvolvimento de projeto.

O projeto para ciclo de vida surgiu para lidar com as preocupações ambientais, este conceito é considerado uma evolução da engenharia simultânea consiste em assumir uma visão holística de todas as fases do ciclo de vida (reconhecimento das necessidades, desenvolvimento, manufatura, distribuição, uso inclusive descarte e reciclagem) considerando-as simultaneamente da fase de projeto conceitual até o projeto detalhado.

[Jovane, *op.cit.*,] reconhece que o projeto para o ciclo de vida precisa:

- Estabelecer especificações ambientais antes de iniciar o trabalho desenvolvimento
- Analisar o fluxo de material para manter contato com a entrada e saída de material em todas as fases
- Estabelecer modelos para avaliar as conseqüências para o meio ambiente
- Recorrer a banco de dados

Uma análise do ciclo de vida de um produto determina as prioridades e direções para o projeto de produto com maiores benefícios, algumas prioridades a serem observadas no projeto:

- Usar Menos material e processos ambientalmente nocivos
- Usar materiais reciclados
- Usar materiais renováveis
- Usar menos energia em todas as fases do ciclo de vida do produto
- Aumentar o ciclo de vida do produto e as possibilidades de manutenção e reparação
- Projetar e consumir de maneira e estimular a reciclagem e o reuso

A FIGURA 3.10 representa a seqüência do novo ciclo de vida do produto a onde são apresentadas as etapas de descarte, desmontagem, reciclagem, reuso e recuperação.

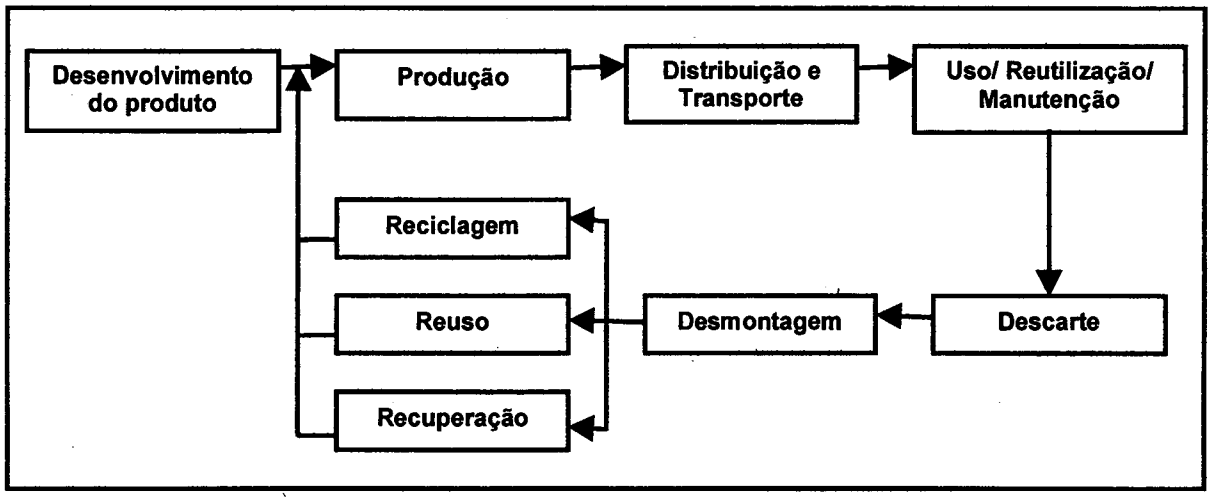


FIGURA 3.10. Novo ciclo de vida do produto. Fonte: Martins, 1997

[Jeswiet, 1997] menciona um método simples gerado pelo professor Rehsteiner onde a idéia é fazer os projetistas pensar na avaliação do ciclo de vida na fase de projeto. É formada uma matriz casa da avaliação do ciclo de vida que possui aspectos ambientais e aspectos importantes ao usuário. A FIGURA 3.11 mostra a matriz de correlação e a seqüência do trabalho.

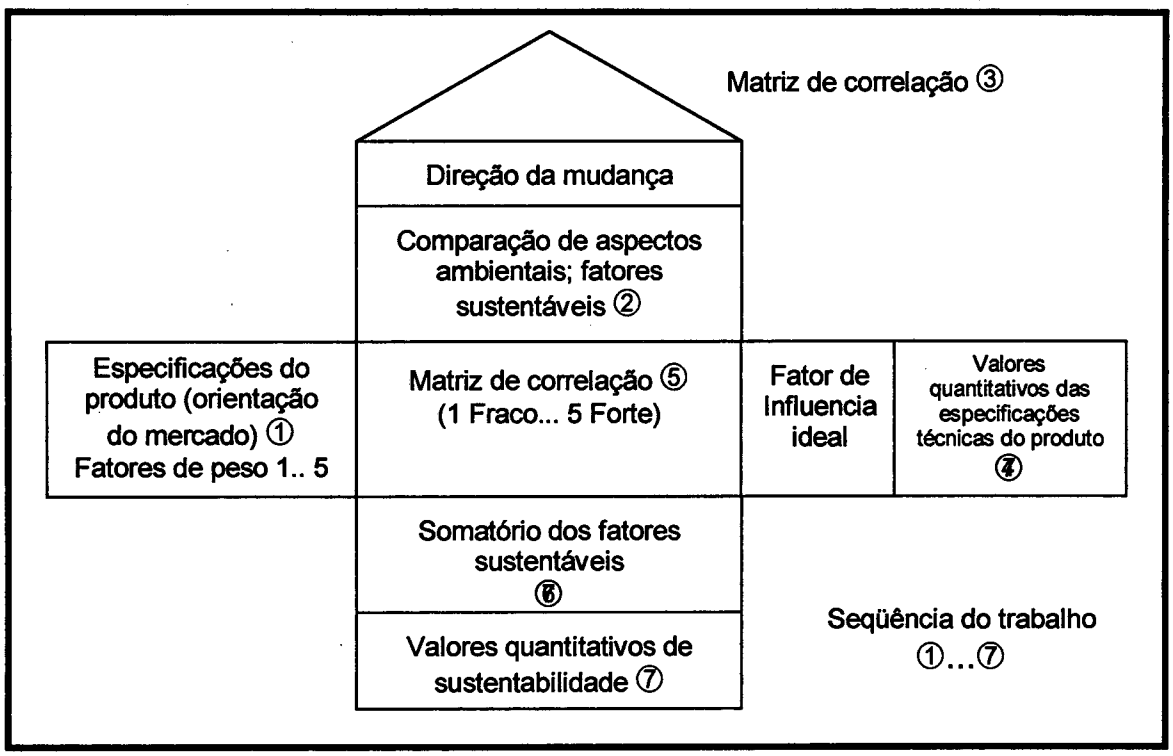


FIGURA 3.11 Casa de avaliação do ciclo da vida. Fonte: Jeswiet, 1997

Assim sendo, podemos perceber que a matriz da Casa da qualidade é usada novamente para integrar ferramentas e atingir resultados mais abrangentes.

3.2.5. DFD (*Design for disassembly*) PROJETO PARA DESMONTAGEM

A solução no pós uso do produto aponta para algumas das principais iniciativas conhecidas e que podem ser consideradas como importantes na promoção da melhoria da qualidade ambiental. As três Rs, reciclagem, recuperação e reutilização de materiais, são as mais recomendadas para minimizar o impacto ambiental mas para que isso seja possível o produto deve ser desmontado.

Para [Boothroyd, *et al.* 1992] a desmontagem é relevante para as seguintes fases de ciclo de vida do produto:

- **Uso**
  - Manutenção (conserto, serviço)
- **Descarte ou reciclagem**
  - Reuso, refabricação do produto todo ou de unidades funcionais
  - Reciclagem de materiais
- **Distribuição**
  - Construções grandes (local de montagem)
  - Transporte (tamanho, peso, embalagem etc.)
  - Produtos montados pelo usuário

Varias atividades relacionadas à reciclagem e DFD estão sendo levadas a cabo em vários pontos do planeta, descrevendo passos, procedimentos e diretrizes em desenvolvimento de produtos que enfatizam a reciclagem, como também para DFD. Com o auxilio de várias regras o projetista é alertado sobre as possibilidades de reciclagem e as direções para levar o projeto para separar primeiro as partes de maior valor e deter a desmontagem quando o retorno da operação não for mais econômica obtendo assim um mínimo custo.

Para [Jovane, *op.cit.*,] o projeto do processo ajuda ao desenvolvimento de regras, metodologias de software para selecionar as estratégias de desmontagem e configurar sistemas de desmontagem manual ou automatizado. A planificação de desmontagem pode ajudar para encontrar melhores estratégias para produtos complexos, com a avaliação quantitativa dos custos de desmontagem e com um ótimo gerenciamento de toda a informação do produto e seu uso anterior. A FIGURA 3.12 mostra a informação básica para a desmontagem

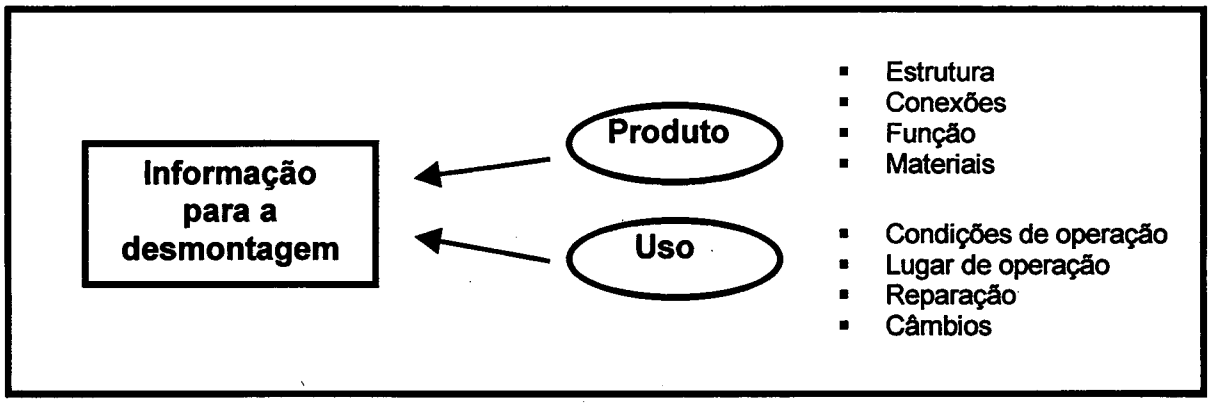


FIGURA 3.12 Informação para a desmontagem. Fonte: Jovane et al. 1993

Atualmente muitas companhias e laboratórios de pesquisa estão aumentando experiência na desmontagem manual e automatizado dos produtos existentes. Nas indústrias de automóveis européias (BMW, Ford, Volkswagen etc.) vem estabelecendo centros de desmontagem onde eles fazem uma avaliação do tempo para encontrar os melhores métodos para a desmontagem de automóveis.

Um exemplo da preocupação das indústrias pela desmontagem e reciclagem é a da indústria de máquinas fotográficas Agfa mostrada na FIGURA 3.13 onde a máquina volta à fabrica para ser desmontada, mostrando que é possível aproveitar um alto porcentagem dos componentes.

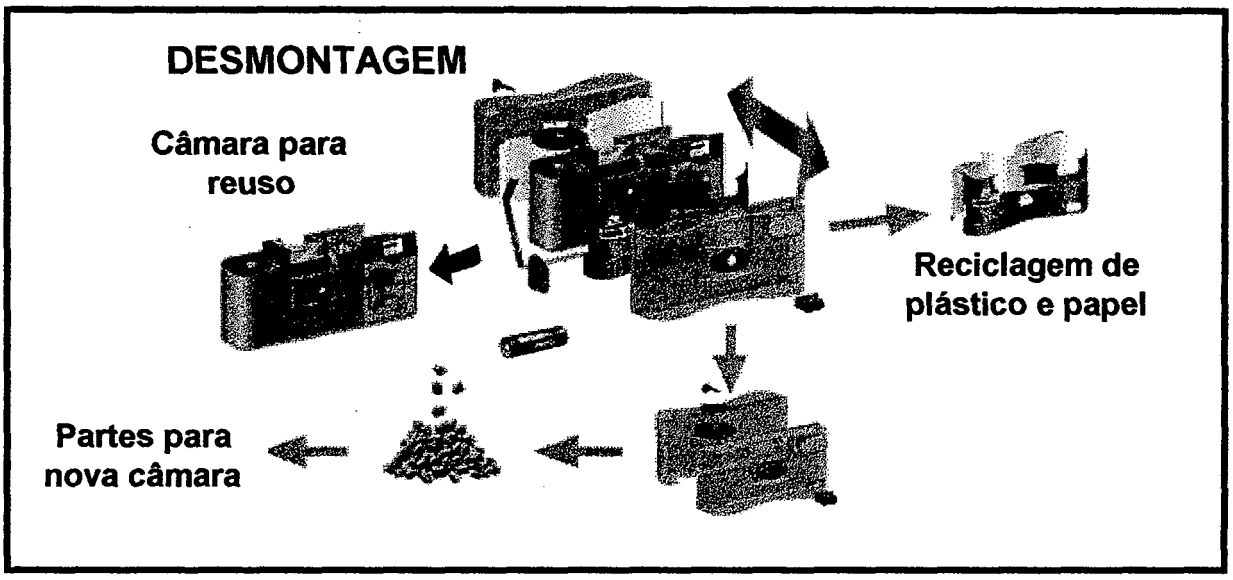


FIGURA 3.13 Desmontagem da máquina fotográfica Agfa. Fonte: internet

Outras pesquisas consideram os custos da desmontagem, assim como diretrizes para facilitar a desmontagem, isso demostra que as pesquisas de comunidades industriais entenderam a seriedade dos problemas causados no descarte dos produtos.

Os critérios do projeto para desmontagem podem ser classificados de acordo com os benefícios que eles oferecem: os objetivos que surgem para orientar a desmontagem são:

3.2.5.1. CONSIDERAÇÕES PARA O PROJETO PARA DESMONTAGEM

As pesquisas apontam, que a estrutura do produto é otimizada sobre requisitos funcionais e de montagem, resultando em muitos passos indesejáveis de

desmontagem, assim muitos são os obstáculos que tornam difícil a desmontagem de produtos, como por exemplo: o difícil acesso aos elementos de união, precisando de ferramentas ou trabalhadores hábeis o que não é viável do ponto de vista econômico, outra questão é que a seleção de materiais, leva em conta os aspectos de custo, e otimização do desempenho, sem perceber que isto conduz a muitos materiais diferentes freqüentemente não recicláveis, com altos custos de desmontagem.

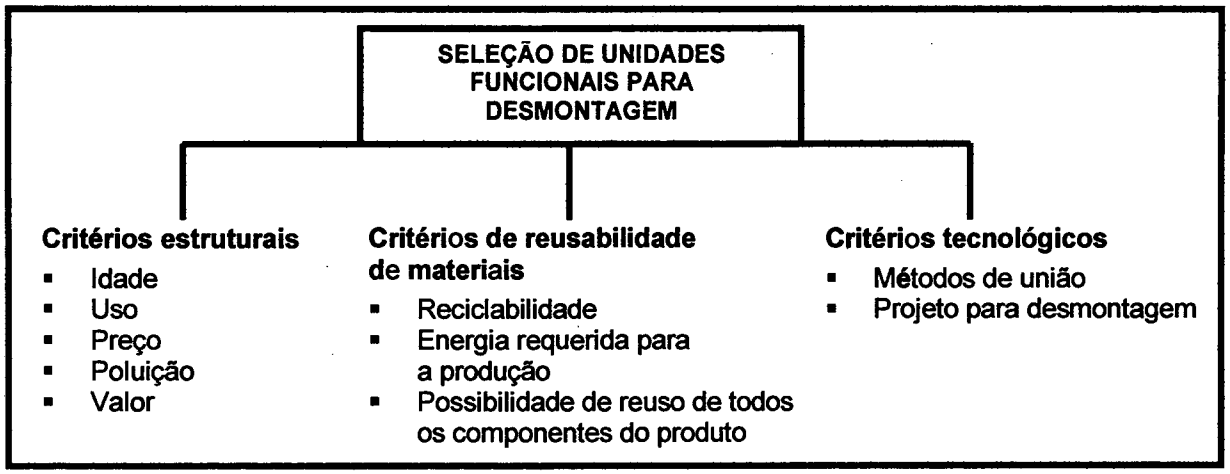


FIGURA 3.14 Critérios de seleção para desmontagem de componentes e submontagens. Fonte: Jovane et al. ,1993

Para [Jovane, *op. cit.,*] na fase de desenvolvimento de produto já deveria se estabelecer quais partes terão que ser desmontadas. Os critérios podem ser classificados de acordo com os benefícios que oferecem, as vantagens para a desmontagem seriam:

- ⇨ Necessidade de reduzir o trabalho de recuperação e reciclagem das partes e materiais do produto
- ⇨ Maior uniformidade e previsibilidade na configuração dos produtos
- ⇨ Operações simples e rápidas de separação
- ⇨ Remoção de partes por meios manuais e automáticos
- ⇨ Remoção fácil e tratamento de recuperação de materiais e resíduos
- ⇨ Redução da variabilidade dos produtos

Assim, a estrutura do produto deveria estar preparada para permitir a desmontagem daquelas partes com o mínimo esforço. A TABELA 3.1 seguinte mostra as sugestões do autor:

TABELA. 3.1 Critérios para o projeto para desmontagem fonte [Jovane, *op. cit.,]*

Benefícios	Critérios
Menos trabalho de desmontagem	▪ Combinar elementos ▪ Limitar a variabilidade dos materiais ▪ Usar materiais compatíveis ▪ Agrupar materiais nocivos em submontagens ▪ Prover fácil aceso a partes nocivas, valiosas e reusáveis
Configuração previsível do produto	▪ Evitar a combinação com materiais corrosivos e perecíveis. ▪ Proteger as submontagens da corrosão
Fácil desmontagem	▪ Pontos de drenagem acessíveis ▪ Usar elementos de fixação fáceis de remover ou destruir ▪ Minimizar o número de elementos de fixação ▪ Usar os mesmos elementos de fixação para muitas partes ▪ Prover um fácil acesso a pontos de separação, de quebra ou corte ▪ Evitar direções múltiplas e movimentos complexos de desmontagem ▪ Colocar elementos principais na base ▪ Evitar colocar metais em partes plásticas (monomaterial)
Fácil manuseio	▪ Eliminar superfícies possíveis de desgaste ▪ Evitar partes não rígidas ▪ Colocar substâncias tóxicas em unidades fechadas
Fácil separação	▪ Evitar acabamentos secundários (pintura, revestimentos etc.) ▪ Prover sinais ou cores diferentes para mostrar materiais separáveis ▪ Evitar partes e materiais que possam estragar os equipamentos
Redução de variabilidade	▪ Usar partes e subpartes padronizadas ▪ Minimizar o número de elementos de fixação

Outro grupo de diretrizes para o projeto para desmontagem apontada por [Kahmeyer, 1991 *apud* Boothroyd e Alting, 1992] são apresentadas na TABELA 3.2

TABELA 3.2 Critérios de projeto para desmontagem. Fonte: Boothoroyd e Alting ,1992

CRITÉRIOS PARA PROJETO PARA DESMONTAGEM

Fase I: Esboço

- Direção de desmontagem linear
- Estrutura de sanduíche com elementos de articulação central
- Parte básica da estrutura do produto
- Padronização de grupos de montagem
- Evitar partes não rígidas

Fase II: Projeto

- Integração das partes
- Incluir sinal no ponto de quebra
- Marcas de separação para uso de ferramentas
- Reduzir o número de elementos de união
- Usar elementos de união que sejam fáceis de separar ou destruir
- Partes fáceis de empilhar para armazenagem
- Não combinar materiais que envelheçam
- Não combinar materiais corrosivos
- Proteger grupos de materiais contra a sujeira e corrosão
- Projetar as partes para fácil transporte
- Limitação do número de materiais diferentes
- Integrar substancias nocivas em unidades fechadas
- Evitar cantos vivos

Para planificar a desmontagem de produtos são necessárias ferramentas metodológicas para o qual varias pesquisas vem sendo desenvolvidas, uma delas é apresentada a seguir.

(Jovane, *op.cit.,*) mostra uma pesquisa desenvolvida em Berlim que propõe uma metodologia para a desmontagem baseada em quatro fases representadas esquematicamente na FIGURA 3.15.

- ⇨ **Análise do produto:** onde os materiais e partes valiosas e reutilizáveis são definidas, isso oferece uma informação sobre uma desmontagem mais eficiente.

- ⇨ **Análise dos métodos de união**, a hierarquia de componentes e as seqüências de montagem são analisadas tomando em consideração a separabilidade dos componentes e as possíveis técnicas de desmontagem
- ⇨ **Modalidade de uso e análise dos efeitos,** uso do produto
- ⇨ **Determinação das estratégias de desmontagem** que decide se deve-se escolher desmontagens destrutivos, não destrutivos ou parcialmente destrutivos

GRUPOS DE PRODUTOS				
Análise de produtos	Riscos potenciais	Valor Potencial	Reuso Potencial	Tecnologia de reciclagem existente
Análise de montagem	Elementos de união	Componentes de hierarquia		Seqüência de montagem
Modalidade de uso e análise de efeitos	Influências condicionadas de uso			Modificações inesperadas
Determinação de estratégias de desmontagem	Não destrutivas Parcialmente destrutivas Destrutivas			

FIGURA 3.15 - Método para a planificação de processo de desmontagem.

Fonte: Jovane et al. ,1993

3.2.6. DFR (*Design for Reciclability*) PROJETO PARA RECICLAGEM

O desenvolvimento de produtos que facilitem a desmontagem e a separação dos componentes de um produto não é suficiente para alcançar o verdadeiro DFE, as companhias devem incorporar materiais e componentes reciclados em seus produtos.

O objetivo da reciclagem é a transformação do produto, ou parte dele, em novas matérias-primas a serem utilizadas para a fabricação do mesmo produto ou de novos produtos. É oportuno mencionar a definição de reciclagem feita por [Grayson, 1984 *apud* Burke et al. ,1992] sendo o uso do resíduo, ou um resíduo

derivado do material, como matéria prima para produtos que podem ou não serem similares ao original.

Dessa forma o projeto para reciclagem permite que os produtos que chegaram ao fim da vida útil reentrem no fluxo industrial e sejam incorporados a novos produtos fechando assim o ciclo de vida dos materiais. O produto é otimizado no momento do descarte permitindo ser coletado e devolvido ao uso sob a forma de matérias-primas ou produtos.

[Bello, 1998] destaca que uma outra forma de aproveitamento de materiais é a recuperação, a mesma que esta baseada no fato de que um produto ou parte dele ainda podem ser utilizadas mesmo no final da vida útil do conjunto original. Esta forma de aproveitamento exige a necessidade de um processamento adicional às partes escolhidas de forma a inseri-las novamente em um novo produto. A autora enfatiza que, a recuperação estende a vida do produto ou parte dele.

[Kuuva,1993 *apud* Martins,1997] cita como argumentos básicos e práticos para reciclagem:

- Recursos limitados de matéria prima;
- Crescente consumo, causando aumento de resíduos e resíduos gerando problemas;
- Problemas de descarte do produto que contém riscos;
- Crescentes despesas para manuseio e disposição do lixo;
- Crescimento na exigência ecológica e tendências preferindo "eco-produtos " no mercado;
- Legislação nacional e internacional demandando reciclagem e reciclabilidade.

[Pahl e Beitz, 1988] assinalaram possibilidades da reciclagem, e [Beitz, 1993 *apud* Martins, *op, cit.,*] reforça que na VDI 2243 estão especificadas as diferentes possibilidades de reciclagem. As duas se complementam como é mostrado a seguir:

- **Reciclagem antes do uso** - recuperação imediata de resíduos e materiais gerados durante a fabricação do produto;
- **Reciclagem de desperdício na produção** - que envolve a reciclagem do desperdício em um novo processo de produção
- **Reciclagem depois do uso** - recuperar materiais depois do uso do produto;
- **Reciclagem do produto** - envolve a reciclagem do produto ou parte dele (ex. recondicionamento do motor de um veículo)
- **Reciclagem de material usado** - é a reciclagem de produtos e materiais velhos em um novo processo (ex. reprocessamento de sucata de veículos).
- **Reciclagem durante o uso** - reusando ou recondicionando o produto após seu primeiro uso

[Pahl e Beitz, *op, cit.,*] mencionam que das varias formas de reciclagem se distinguem basicamente o reuso e o reprocessamento de produtos que estão apoiados pelo recondicionamento e preprocessamento.

Os autores definem reuso e reprocessamento da seguinte forma:

- **Reuso** - é caracterizado pela retenção da forma do produto sempre que possível. Este tipo de reciclagem representa um nível alto de utilização e deveria ser apontado como objetivo. Dois tipos de reuso podem ser distinguidos:
  - O produto ou parte dele realiza a mesma função (ex. cilindros de gás);
  - O produto ou parte dele realiza uma função diferente (ex. pneus de automóvel reusados como protetores de barcos).
- **Reprocessamento** - destrói a forma do produto conduzindo a um valor mais baixo de utilização. Dois tipos de reprocessamento podem ser distinguidos:
  - O reprocesso atua no mesmo processo de produção do produto (ex. reprocessamento de materiais de refugo de veículos);

- O reprocessamento atua numa aplicação diferente (ex. transforma plástico velho em óleos através de pirólise. É importante ressaltar que o reprocessamento é influenciado pelos métodos de preprocesso (ex. compactagem por pressão, corte, separação) já que esses métodos definirão a qualidade do fragmento e a taxa de reutilização.

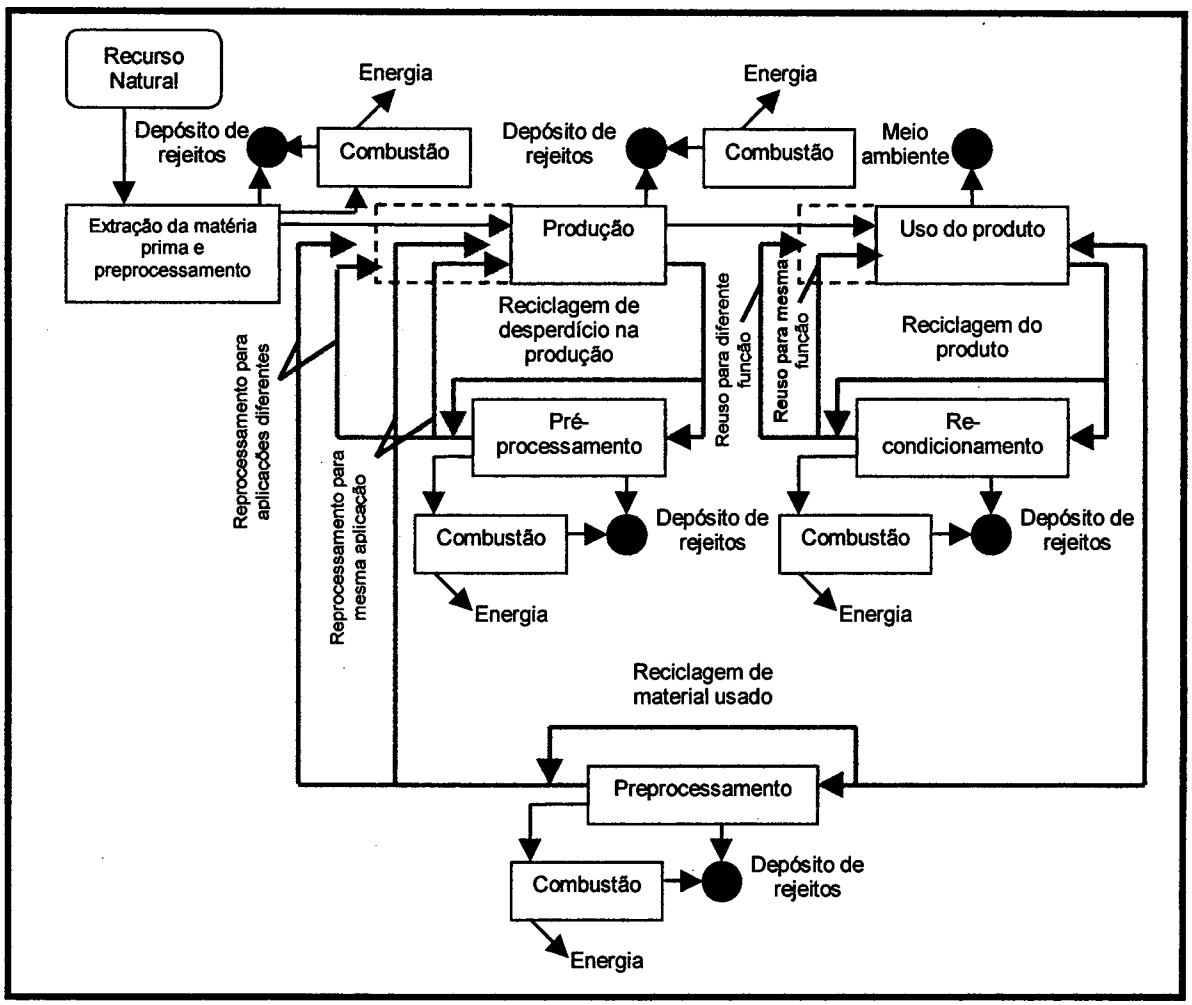


FIGURA 3.16 Possibilidades após a reciclagem Fonte: Pahl e Beitz, 1996

Os autores enfatizam que as possibilidades de reciclagem devem ser consideradas durante todas as fases do processo de projeto e apontam diretrizes para o produto global e para as montagens individuais, assim podem ser aplicadas isoladamente ou em conjunto com o objetivo de melhorar o preprocessamento ou diretamente no reprocessamento.

As diretrizes são apresentadas a seguir:

- **Usar materiais compatíveis** - devido a dificuldade de projetar produtos feitos de um único material que possa ser reprocessado

facilmente, para unidades indivisíveis, o objetivo deveria ser usar materiais que sejam compatíveis para facilitar o reprocessamento.

Para este critério é importante definir grupos de materiais compatíveis isto geraria um alto grau de reciclabilidade do produto ou componente. Um exemplo de compatibilidade de plásticos é mostrada na FIGURA 3.17

		Aditivos											
Materiais Básicos	Importantes materiais sintéticos de projeto	PE	PVC	PS	PC	PP	PA	POM	SAN	ABS	PBTP	PETP	PMMA
	PE	●	⊙	⊙	⊙	●	⊙	⊙	⊙	○	⊙	⊙	⊙
	PVC	⊙	●	⊙	○	⊙	⊙	⊙	●	◐	⊙	⊙	●
	PS	⊙	⊙	●	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
	PC	⊙	◔	⊙	●	⊙	⊙	⊙	●	●	●	●	●
	PP	◔	⊙	⊙	⊙	●	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
	PA	⊙	⊙	◔	⊙	⊙	●	⊙	⊙	⊙	◔	◔	⊙
	POM	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	●	⊙	⊙	◔	○	⊙
	SAN	⊙	●	⊙	●	⊙	⊙	⊙	●	●	⊙	⊙	●
	ABS	⊙	◐	⊙	●	⊙	⊙	◔	⊙	●	◔	◔	●
	PBTP	⊙	⊙	○	●	⊙	◔	⊙	⊙	◔	●	⊙	⊙
	PETP	○	⊙	◔	●	⊙	◔	○	⊙	◔	⊙	●	⊙
	PMMA	⊙	●	◔	●	⊙	○	◔	●	●	⊙	⊙	●

● Compatíveis

◐ Limite de compatibilidade

◔ Pouco Compatíveis

⊙ Incompatíveis

FIGURA 3.17 Compatibilidade de plásticos.

Fonte: Pahl e Beitz, 1996

- **Separar os materiais** - quando não é possível perceber as montagens, podem ser introduzidas interfaces para separar materiais compatíveis através da desmontagem do produto.

- **Usar interfaces apropriadas para o preprocesso** - interfaces que mantém alta qualidade e economia no preprocesso devem ter acesso e desmontagem fácil, localizadas nas extremidades exteriores do produto.

Neste critério para desmontagens econômicas é preferível o uso de ferramentas simples, pessoal não treinado e processos automáticos. A FIGURA 3.18 mostra alguns tipos de conexões que podem ser facilmente desmontadas.

		Material de união		Força de união					Forma do união					
Princípio de conexão / Características da conexão		Colagem plástico/metal	Soldagem	Junta magnética	Junta Velcro	Junta Com rosca Aço plástico		Junta de pressão	Junta de pressão	Junta de grampo	Fecho de giro	Fecho de compressão	Fecho de pressão	União com faixa
Custo de desmontagem	Desmontagem Não destrutiva	○	○	●	●	⊘	⊘	●	○	●	●	●	●	⊘
	Desmontagem destrutiva	⊘	⊘			⊘	●		●	⊘	⊘	⊘	⊘	
Reciclagem	Reciclagem de produto	○	○	⊘	⊘	⊘	●	●	○	●	●	●	●	
	Reciclagem de material	⊘	●	⊘	⊘	⊘	●	●	●	●	●	⊘	⊘	

● Preferência ⊘ Adequado ○ Menos Adequado

FIGURA 3.18 Interfaces adequadas para o reprocesso

Modificada - Fonte: Pahl e Beitz, op. cit.,

- **Diferenciar materiais de alto valor** - materiais raros e de alto valor devem ser colocados e rotulados a fim de favorecer a separação.

- **Remover ou separar materiais perigosos** - materiais, líquidos e gases que sejam perigosos para o meio ambiente devem ser separados ou removidos.

[Navin-Chandra, 1993 *apud* Martins, *op, cit.,*] coloca que na reciclagem o processo de recuperação representa um compromisso entre custo, tempo e problema ambiental. Algumas vezes gasta-se mais energia para reciclar um produto do que para fazer um novo, neste caso o rejeito seria a solução ambiental mais segura.

Se sabe também que no processo de recuperação de um produto, algumas partes podem ser reusadas enquanto outras podem ser recicladas e o resto deve ser depositado no aterro sanitário. Um processo então deve representar um balanço que tem de ser atingido entre a soma de emissões, custo de recuperação, uso de energia e o impacto ambiental do aterro sanitário. Assim, a meta no desenvolvimento de produto, é a de fazer mudanças no projeto, até que o volume depositado no aterro sanitário, seja o mínimo possível.

Para [Jovane, *op. cit.,*] entanto os novos produtos podem ser projetados para reciclagem os produtos existentes tem que ser reciclados com a tecnologia disponível. O reuso de componentes, subcomponentes e material reciclado são as duas possíveis eleições. Eles ainda acrescentam que existiriam benefícios

significativos com o uso de todos os componentes ou subcomponentes. Citando estudos de possibilidade em produtos eletromecânicos que tem dado como resultado uma media de 30% de redução no custo final com o uso de partes recicladas.

[Pahl e Beitz, *op. cit.,*] destacam que produtos da linha branca como lavadoras de roupa, máquinas de lavar pratos, geladeiras tem um alto valor para a reciclagem, sendo que são produzidos em grandes quantidades e contem materiais valiosos. Os autores identificam em um exemplo apresentado na FIGURA 3.19 em que as conexões dos componentes nos produtos de linha branca usam uma variedade de parafusos e rebites o que dificulta a desmontagem, e em conseqüência a reciclagem. Portanto destacam a importância de incluir componentes que sejam fáceis de separar e desmontar permitindo a reciclagem.

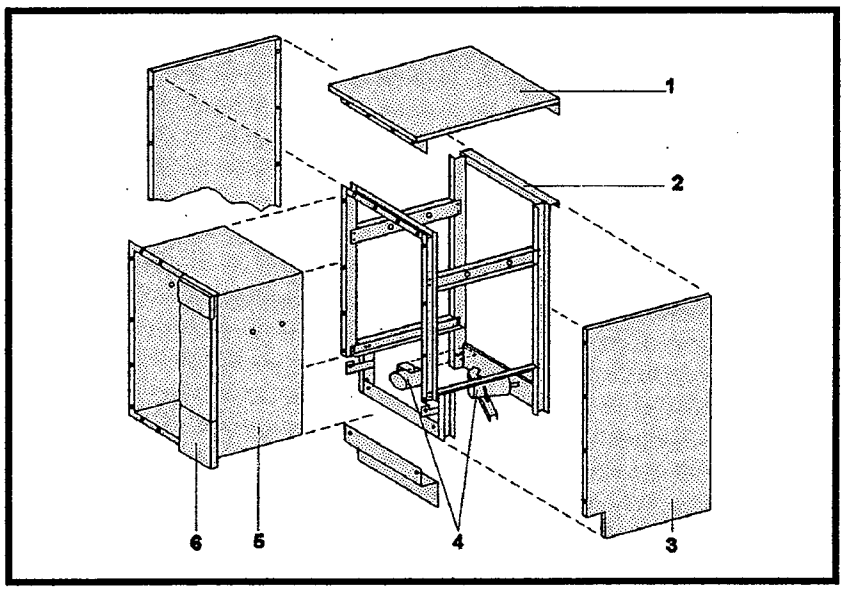


FIGURA 3.19 Lavadora. Fonte: Pahl e Beitz, op. cit.,

As FIGURAS 3.20 e 3.21 mostram dois exemplos de possíveis variantes facilitando a desmontagem e tornando a reciclagem econômica. A unidade básica na FIGURA 3.20 tem fixadores de braçadeira e dispositivos de conexão de pressão substituindo parafusos e rebites.

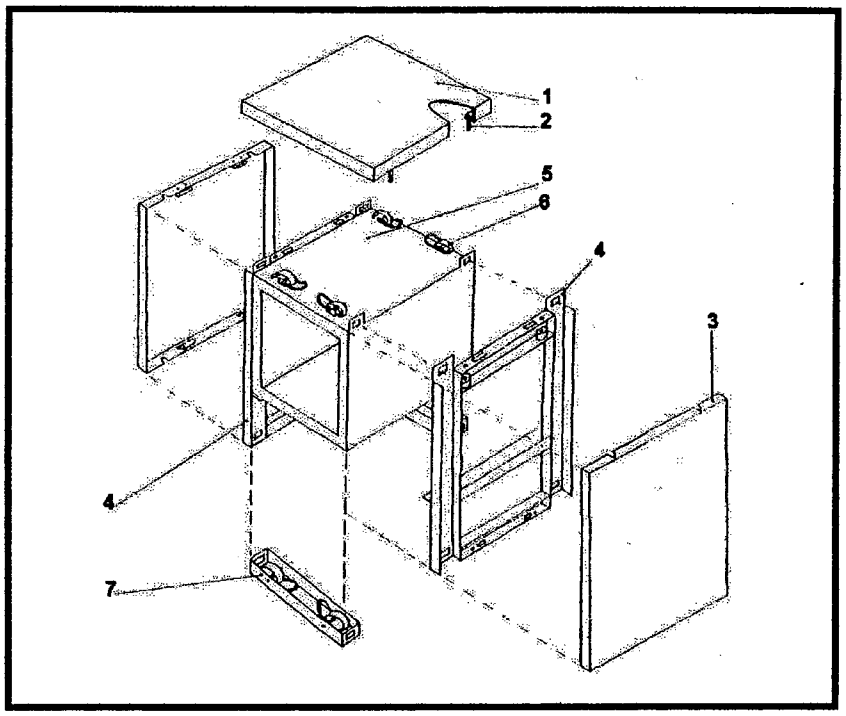


FIGURA 3.20 Lavadora. Fonte: Pahl e Beitz, op. cit.,

Na FIGURA 3.21 os componentes elétricos estão reunidos em um módulo fácil de desmontar. E finalmente os autores apresentam mais um exemplo mostrado na FIGURA 3.22 em que a base 1 contem todos os acessórios que incluem, bomba de circulação 2, bomba de distribuição de água 3, bomba de distribuição do detergente 4, os componentes eletrônicos 5, a cobertura 6 que pode ser aberta pela dobradiça 7. O angulo de inclinação da cobertura é suficientemente para a montagem dos componentes assim como para remove-los no final da vida útil e facilitar a reciclagem.

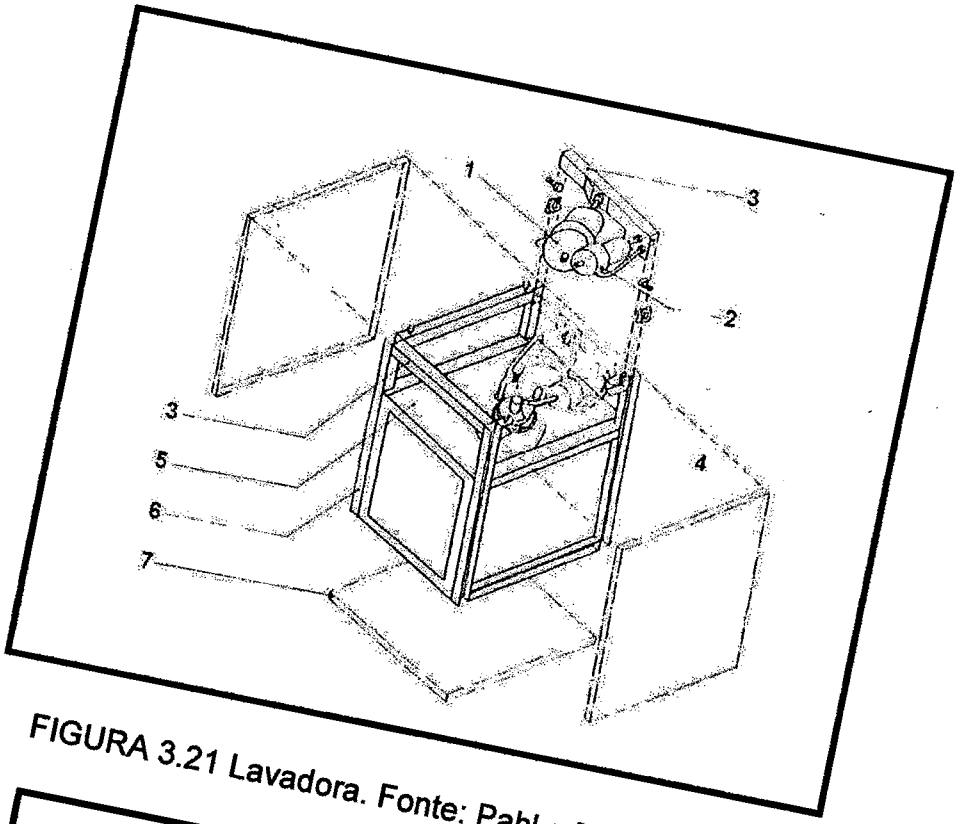


FIGURA 3.21 Lavadora. Fonte: Pahl e Beitz, op. cit.,

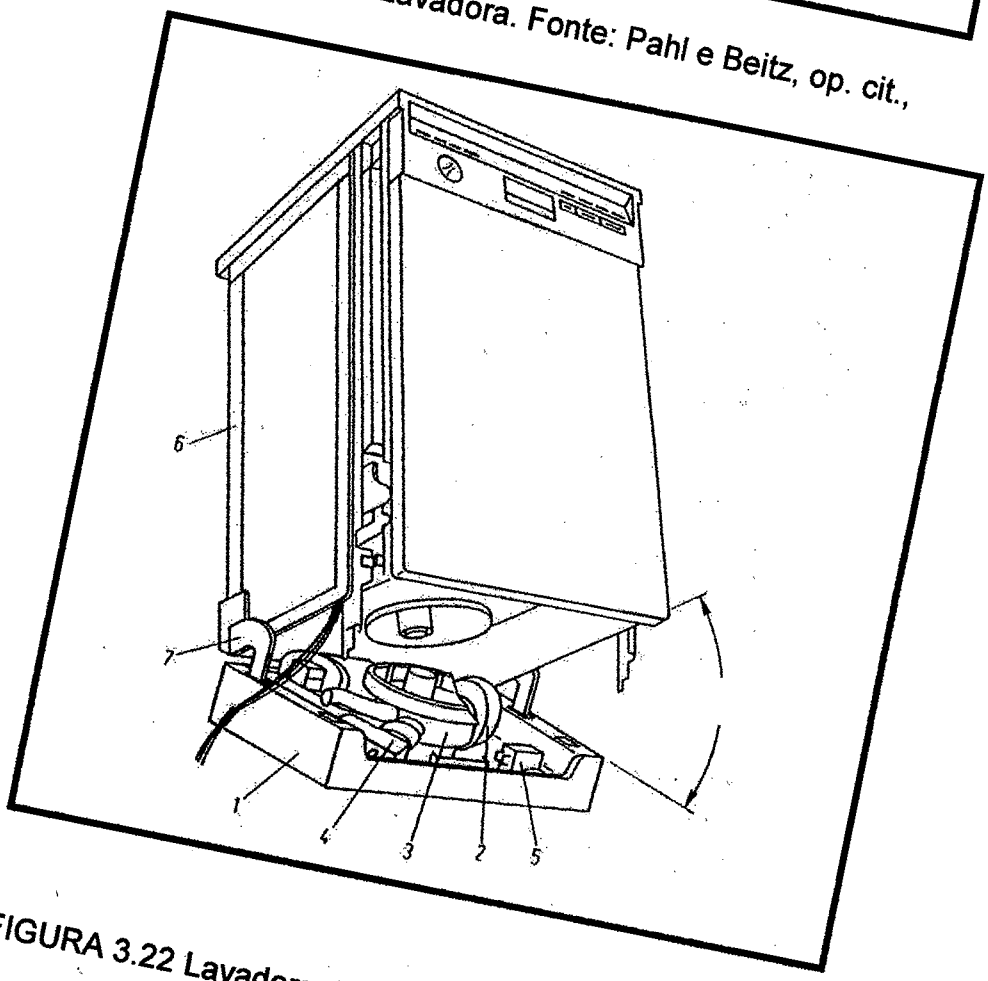


FIGURA 3.22 Lavadora. Fonte: Pahl e Beitz, op. cit.,

Fica aparente então, que uma mudança no projeto facilita a separação do produto e permite o processo de reciclagem. O projetista, tem o controle na seleção dos materiais, na modularidade dos componentes - este um assunto muito interessante, que pela sua abrangência será exposto no próximo Capítulo -, e nos métodos de combinação dos componentes. Assim, no projeto pode-se fazer modificações que, não só possibilitem a reciclagem como garantam a qualidade dos componentes e materiais reciclados, reusados ou recuperados.

3.3. CONCLUSÕES

Superada a visão econômica tradicional, que definiam a competitividade dos produtos como uma questão de preços, custos e taxas de câmbio, e considerando a ótica atual globalizada, muito mais abrangente, que considera conceitos de agregar valor, qualidade e a crescente questão ambiental. Foram apresentadas neste Capítulo, as ferramentas mais significativas de apoio ao desenvolvimento de produtos que tem surgido nas últimas décadas, as mesmas que maximizam características de processos e produtos.

O **DFQ** (*Design for Quality*) **Projeto para a Qualidade, QFD** (*Quality Function Deployment*) Desdobramento da Função Qualidade também chamada de **Casa da Qualidade, DFE** (*Design for Environment*) **Projeto para o Meio Ambiente, DFLC** (*Design for Life Cycle*) **Projeto para o Ciclo de Vida, DFD** (*Design for disassembly*) **Projeto para Desmontagem, DFR** (*Design for Reciclabiiity*) **Projeto para Reciclagem,** buscam que o projeto seja elaborado tendo por preocupação todas as fases por que passa o produto desde a identificação das necessidades até o descarte e reciclagem.

O Capítulo enfatiza, que o primeiro passo para que o produto seja reciclado, reusado ou recuperado, é facilitar a separação dos componentes e materiais dos produtos. Torna-se aparente então, a necessidade da equipe de projeto, desenvolver um produto fácil de desmontar. Para isso, é necessário atender aos requisitos ambientais, levar em conta o conceito de ciclo de vida, se manter informados da legislação ambiental, normas como a ISO 14000, técnicas de reciclagem, diretrizes das diversas ferramentas, podendo assim, garantir o desenvolvimento de produtos com alta qualidade ambiental.

Cada ferramenta apresentada, maximiza diferentes características dos produtos e processos, dessa forma, torna-se, muito mais relevante, agrupar as ferramentas para prevenir a contaminação na fonte e reduzir o impacto ambiental criado pelos resíduos de produtos descartados, ao final da vida útil. É de grande interesse então, que na fase de projeto conceituai, sejam aplicados os critérios e métodos de forma integrada procurando facilitar a separação.

Um aspecto importante de ser destacado, é que atualmente os produtos não são projetados para o conserto, muitos produtos teriam um mais longo e útil ciclo de vida o que seria um atributo do produto, reduzindo diretamente os desperdícios. Um método que facilita o conserto, a separação, reciclagem, manutenção, reuso e recuperação dos produtos, é o conceito modular, essa técnica, será levantada no Capítulo 4, mostrando as vantagens e características que a colocam, como uma ferramenta ótima para desenvolver produtos ambientalmente melhores.

CAPÍTULO 4

PROJETO DE PRODUTO MODULAR

4.1. INTRODUÇÃO

Tem sido comentado ao longo dos Capítulos anteriores, que a combinação do curto ciclo de vida das funções de produtos industriais, com a crescente demanda dos clientes para uma maior variedade das suas características, produzem uma rápida obsolescência dos produtos industriais, ocasionando o seu descarte que gera lixo e poluição. Foi comentado também nos Capítulos 2 e 3, que os processos de reciclagem precisam de um método de desmontagem que viabilize a separação da grande variedade de componentes.

Com esses antecedentes em que os produtos industriais tem que atender a diferentes funções, reduzir as emissões de resíduos, bem como a racionalização de consumo de matérias primas, o objetivo deste Capítulo é mostrar que o sistema modular possui várias características que possibilitam, desenvolver produtos com maior reciclabilidade, permitir a separação dos componentes, estender o ciclo de vida, facilitar a reparação, resultando numa redução direta dos desperdícios, melhoria e otimização dos componentes e racionalização da produção.

Este Capítulo também vai definir as características do projeto de produto modular assim como obter uma maior compreensão do significado de módulo, sistema modular e modularidade. Através de um melhor entendimento das diversas questões dos aspectos básicos do sistema modular, como suas vantagens e limitações, classificação dos módulos, sistemáticas de produto modular, será levantada a importância do desenvolvimento de projeto de produto modular como uma técnica de apoio ao desenvolvimento de produtos ecologicamente corretos.

4.2. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

As diversas exigências dos consumidores conduzem a uma ampla variedade de produtos que cumprem diferentes funções, assim no desenvolvimento dos mesmos, é provida uma grande quantidade de variantes necessárias para alcançar a função total do sistema (produto). Dessa forma a função total de um sistema (produto) é normalmente composta de um número de funções parciais e elementares.

Produtos eletromecânicos como computadores e periféricos apresentam atualmente uma tecnologia de curto ciclo de vida de muitas das suas funções, chegando rapidamente a obsolescência e destinando o produto ao descarte. No caso de produtos eletrodomésticos como geladeiras, máquinas de lavar, os produtos são usados até o seu desgaste, e quando estão velhos e obsoletos são descartados, sendo difícil o reuso de seus componentes.

Isto vem ao encontro de [Kimura et al. ,1998] que destacam a necessidade de reuso com pequenos reparos ou renovações, dando importância à manutenção do produto durante a operação, à reforma periódica e ao reuso de partes/produtos. Os autores consideram reduzir o descarte dos produtos, fechando rapidamente o ciclo de vida do produto, motivando a reforma com melhoria funcional e retirando os componentes do produto para reuso antes que cheguem a obsolescência e sejam severamente danificadas. A FIGURA 4.1 mostra o ciclo de vida do produto fechado, destacando a manutenção.

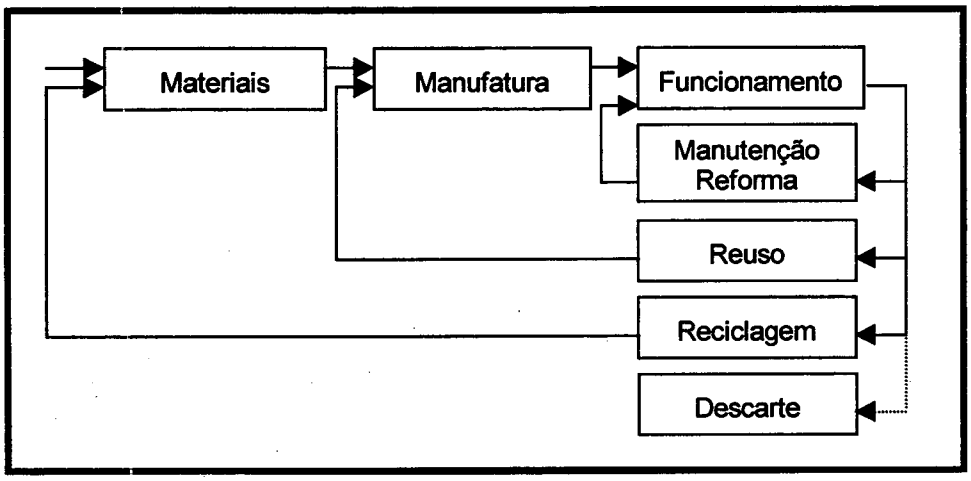


FIGURA 4.1 Ciclo de vida do produto considerando a manutenção

Fonte: Kimura et al. 1998

Sabemos que atualmente muitos produtos não são consertados quando falham. Isto é devido aos altos custos de conserto já que os produtos não são projetados para manutenção. Muitos produtos teriam um longo ciclo de vida se fossem consertados e seus componentes melhorados.

Distinguimos a seguir a necessidade de reparo nos produtos em geral mas para efeito deste trabalho especificamos produtos eletrodomésticos como geladeiras, máquinas de lavar, periféricos de computadores, automóveis e seus componentes.

- Melhorar o desempenho do produto que se deteriora rapidamente devido ao rápido processo da tecnologia.
- Estender a fase de uso do ciclo de vida do produto demorando sua reposição em um curto período de tempo, reduzindo assim, a extração de matéria prima e volume de desperdícios.
- Consertar os componentes antes que a obsolescência, avaria ou dano prejudique o desempenho do produto.
- Criar meios de facilitar a manutenção para reduzir o custo do conserto

[Kimura, et al. *op. cit.,*] apontam que para realizar uma manutenção em um estágio prematuro do produto é preciso:

- Usar componentes padronizados, montagens estruturadas e mecanismos de controle projetados de forma modular e flexíveis
- Recolher cedo produtos e componentes, quanto mais rápido forem recolhidos os produtos na fase de uso, facilita seu reuso, a reforma e o conserto contrario ao que acontece quando são recolhidos devido ao desgaste ou obsolescência funcional.
- Melhorar o desempenho ou atualizar em um alto grau o produto e seus componentes acompanhado os requisitos dos usuários, considerando o progresso da tecnologia e a mudança dos requisitos dos consumidores em relação ao produto e a seu desempenho funcional.

- Considerar o custo de coleta e a vantagem de melhorar o desempenho do produto.

Dessa forma torna-se muito mais relevante desenvolver o produto considerando a questão da manutenção e conserto para reduzir o volume de desperdício gerado pelo descarte de produtos. Projetos modulares podem facilitar o conserto permitindo uma eficiente desmontagem.

Além do conserto e manutenção que estendem o ciclo de vida do produto, devemos lembrar os Capítulos anteriores que o produto tem que ser projetado para estimular e facilitar a reciclagem e o reuso. A propósito [Ishii, 1997] considera que para melhorar o uso de componentes e reciclagem dos materiais, é preciso procurar a modularidade no produto. Esse esforço levará ao melhoramento da ecologia industrial através da redução do uso de matéria prima, de energia e a um longo ciclo de vida do produto. A FIGURA 4.2 representa de forma esquemática a presença do projeto de sistemas modulares no ciclo de vida do produto.

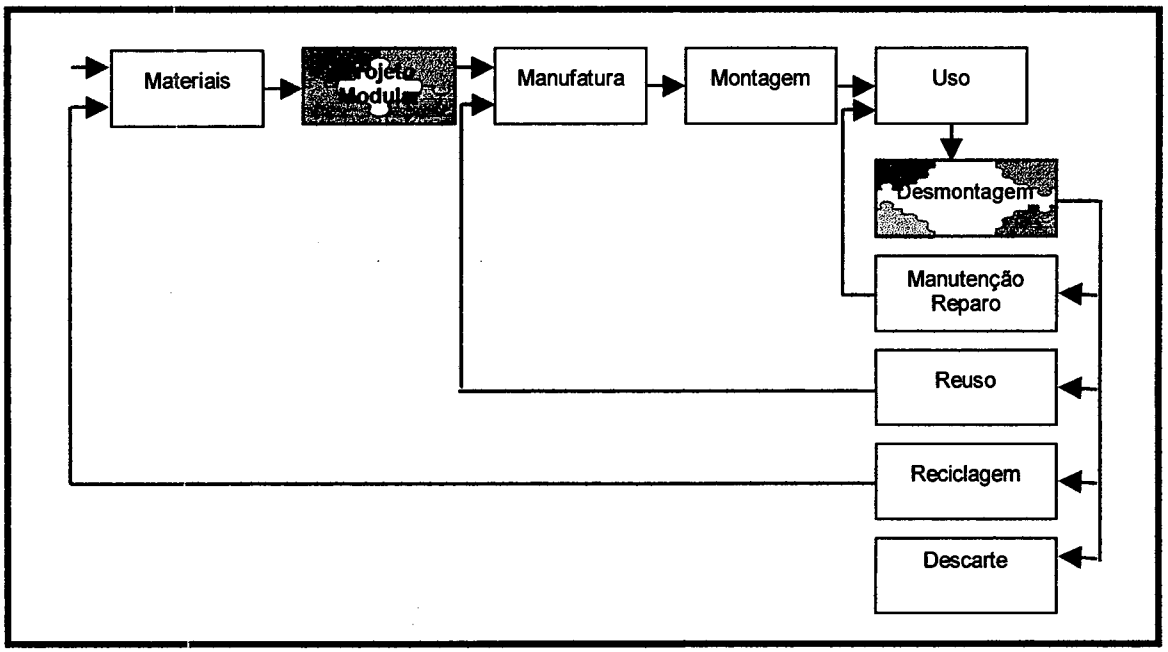


FIGURA 4.2 A modularidade no ciclo de vida do produto.

Em decorrência do dito anteriormente torna-se relevante considerar a modularidade nas primeiras etapas do desenvolvimento de projeto, aplicando a modularidade a toda a família de produtos e suas gerações futuras.

Segundo [Gu, *op. cit.,*], um produto pode ser modularizado de formas diferentes. Diversos roteiros de modularização podem ter impactos diferentes na características de ciclo de vida do produto. Por exemplo um projeto modular pode melhorar a montagem, enquanto outra modularização pode melhorar a reusabilidade. Assim, para um sucesso do projeto modular, os objetivos de potencializar o ciclo de vida e o impacto de alternativas modulares precisam ser identificados.

Outro aspecto levantado pelo autor é que embora objetivos de ciclo de vida são buscados no projeto de produto modular, o mesmo não pode deixar de lado os requisitos funcionais inerentes ao produto.

4.3. TERMOS UTILIZADOS NO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS MODULARES

A seguir é apresentada uma tabela com os termos técnicos utilizados no desenvolvimento de sistemas modulares.

TABELA 4.1 Termos técnicos de sistemas modulares.

TERMO TÉCNICO	DEFINIÇÃO
Função	▪ [VDI 2221, 1987 apud Maribondo, op. cit.,] É uma descrição abstrata e genérica de uma verdade, que busca reunir partes de um todo em si, através de grandezas de entrada, saída e de estado de um sistema, para o desempenho de uma tarefa
Interface	▪ São meios de união ou comunicação ou de transmissão de energia, materiais e sinal entre dois ou mais sistemas independentes.
Modularidade	▪ Para [Sanchez e Mahoney, 1997 apud Maribondo, op. cit.,] é uma forma especial de projeto na qual intencionalmente cria-se um alto grau de independência entre os componentes de projeto através da padronização das especificações das interfaces desses componentes.
Modularização	▪ [Maribondo, op. cit.,] É a decomposição de produtos e/ou modelos acabados numa lista de itens, que serão rearranjados dentro de módulos, normalmente um grupo de itens os quais podem ser planejados como um grupo.
Módulos	▪ [Maribondo, op. cit.,] define como a um ou mais componentes ou submontagens que reúnem simultaneamente os seguintes requisitos: habilidade para suportar testes funcionais, ajustabilidade, interface padronizada, máxima permutabilidade e transportabilidade.

Produtos modulares	▪ Para [Pahl e Beitz, 1996] são máquinas, montagens e componentes que cumprem várias funções globais através da combinação de blocos ou módulos construtivos.
Projeto de produto modular	▪ Para [Gu, 1997] é o desenvolvimento do produto em unidades fisicamente separadas tornando fácil a montagem, a possibilidade de reuso do componente, e facilitando a reciclagem.
Sistema	▪ Estrutura organizada, cujos elementos são bem definidos e cujo funcionamento segue uma lógica determinada, esse conjunto de elementos estão conectados entre si e possuem uma função especifica e uma forma definida.
Sistemas modulares	▪ Para [Pizzato, 1998] são sistemas que possuem elementos funcionais ou construtivos (módulos) planejados para que combinações distintas dos mesmos possam atender uma gama de variantes da função global.
Sistema modular aberto	▪ Para [Maribondo, 1999] são sistemas que contém grandes possibilidades de combinações, não podendo ser planejados o representados totalmente.
Sistema modular fechado	▪ Para [Maribondo, op. cit.,] são sistemas que têm seus tamanhos e potenciais expressados por um plano combinatório com um número finito de variantes desejadas.

Para [Pahl e Beitz, *op. cit.,*] devido a que em um sistema modular a função total é o resultado de uma combinação de unidades separadas ou diferentes, o desenvolvimento de produtos modulares exige a elaboração de uma estrutura de funções o que requer um maior esforço de projeto nas fases conceituais.

4.4. CARACTERÍSTICAS DO PROJETO DE PRODUTO MODULAR

O projeto de produto modular envolve muitos assuntos técnicos a serem enfocados, para [Ulrich et al. 1991] o produto modular é caracterizado pela independência dos componentes o que permite a padronização e a intercambiabilidade.

Os autores fazem um apanhado das muitas maneiras que o projeto de sistemas modulares é usado, assim, no projeto de sistemas complexos de engenharia refere-se ao uso de unidades independentes, na arquitetura refere-se para a construção de edifícios usando componentes padronizados, em manufatura o termo é usado em unidades intercambiaveis para criar variedade de produtos.

A modularidade para [Ulrich et al. *op. cit.,*] é o resultado da forma como o produto está fisicamente dividido em componentes e consideram que depende de duas características de projeto:

- **Similaridade entre a arquitetura física e funcional do projeto**: Os autores mencionam que a funcionalidade de um produto, pode ser descrito como um conjunto de elementos funcionais interligados, por trocas de informação, troca de energia e material. O grau em que essa descrição funcional for percebida pela arquitetura física do produto, contribui à modularidade do projeto.
- **Minimização das interações eventuais entre componentes físicos:** Esta característica da modularidade é o grau no qual as interações entre os componentes físicos são confinadas a aquelas que são decisivas para a função do produto. A medida que as interações incidentais sejam eliminadas o projeto torna-se mais modular.

Para ilustrar esta definição, e diferenciar a maior ou menor modularidade do projeto, o autor considera três formas no motor de automóvel e alternador que são representados na FIGURA 4.3

A diferença entre as três alternativas é a divisão física do sistema e a natureza das interações entre o alternador e o motor. Podemos ver que a primeira alternativa é usar o eixo do motor como eixo da armadura do alternador e montar as bobinas diretamente no bloco do motor. O motor e o alternador estão fisicamente integrados e interagem a nível térmico, estrutural, cinético e espacial. Algumas das interações são importantes para o funcionamento do sistema e algumas são incidentais.

Na segunda configuração é criado um componente separado que contém a armadura e as bobinas do alternador que é montada do lado do bloco do motor. Nesta configuração foram reduzidas as interações incidentais entre o alternador e o motor. Na terceira configuração as interações entre motor e alternador são em grande parte reduzidas.

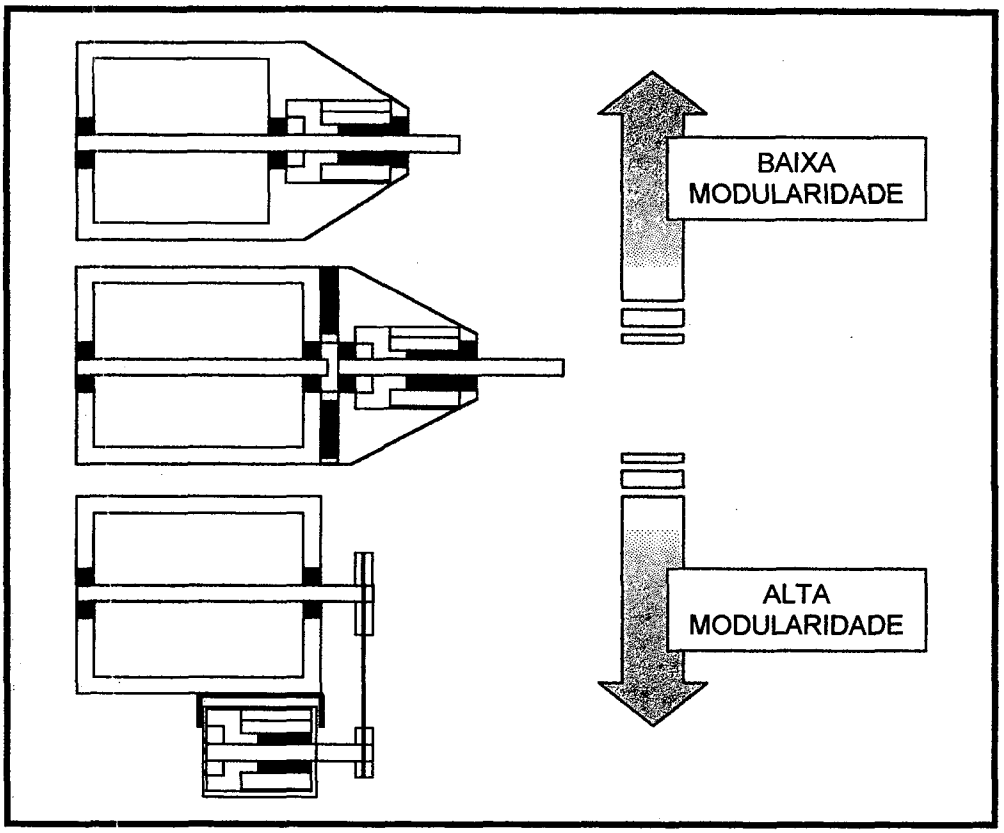


FIGURA 4.3 Aumento aproximado da modularidade no projeto de motores e alternadores. Fonte: Ulrich, et al. 1991

Desta forma para os autores um projeto completamente modular representa a correspondência existente entre cada elemento funcional do projeto e um único componente físico, sendo que cada interação entre os componentes é importante à função do sistema. O autor continua dizendo que nenhum produto alcança modularidade total embora alguns produtos eletrônicos exibam modularidade relativamente alta, como é o caso do computador e a impressora.

Para [Back, 1983] o projeto de produto modular é caracterizado por manter a compatibilidade das partes nas suas interfaces. Isto comenta o autor requer que as condições das interfaces sejam rigorosamente controladas, enquanto que as dimensões fora das interfaces podem apresentar variações.

[Erixon et al. ,1993] descrevem alguns dos fundamentos relativos ao projeto de produto modular e caracterizam que a divisão do produto em subprodutos (módulos) é uma excelente base para renovação contínua de produtos e desenvolvimento simultâneo de sistemas de manufatura.

4.5. DIFERENCIAÇÃO DOS MÓDULOS

Sendo que os sistemas de produto modular são constituídos de unidades (módulos) separáveis ou inseparáveis [Pahl e Beitz *op. cit.,*] consideram 7 aspectos para diferenciar os módulos.

Assim eles diferenciam pelos seguintes critérios de classificação:

- **Módulos de função:** Ajudam a implementar funções técnicas de forma independente ou em combinação com outras.
- **Módulos de construção:** são projetados, independentemente da sua função e estão baseados em considerações de produção.

Os módulos de função por sua vez são subdivididos levando em consideração os vários tipos de função que ocorrem periodicamente em sistemas modulares. Assim os autores dividem em:

1. **TIPO DE FUNÇÕES**

- **Funções Básicas:** são fundamentais a um sistema, atendem sozinhas ou em combinação com outras funções a uma função global e, podem ser de tamanhos seriados e diferentes acabamentos. São essenciais.
- **Funções Auxiliares:** são implementadas para localização, arranjo ou união de módulos construtivos básicos. Tipo essencial.
- **Funções Especiais:** são sub-funções complementares para tarefas específicas e não precisam aparecer em todas as variantes de funções globais. Tipo possíveis.
- **Funções Adaptativas:** são necessários para adaptação para outros sistemas e para condições específicas. Tipo essencial ou possível.
- **Funções Específicas de Consumidores:** tem que ser projetados individualmente para tarefas específicas conforme a descrição. São do tipo essencial ou possível.

Na FIGURA 4.4 tem-se os tipos de funções e módulos funcionais de produtos modulares e mistos.

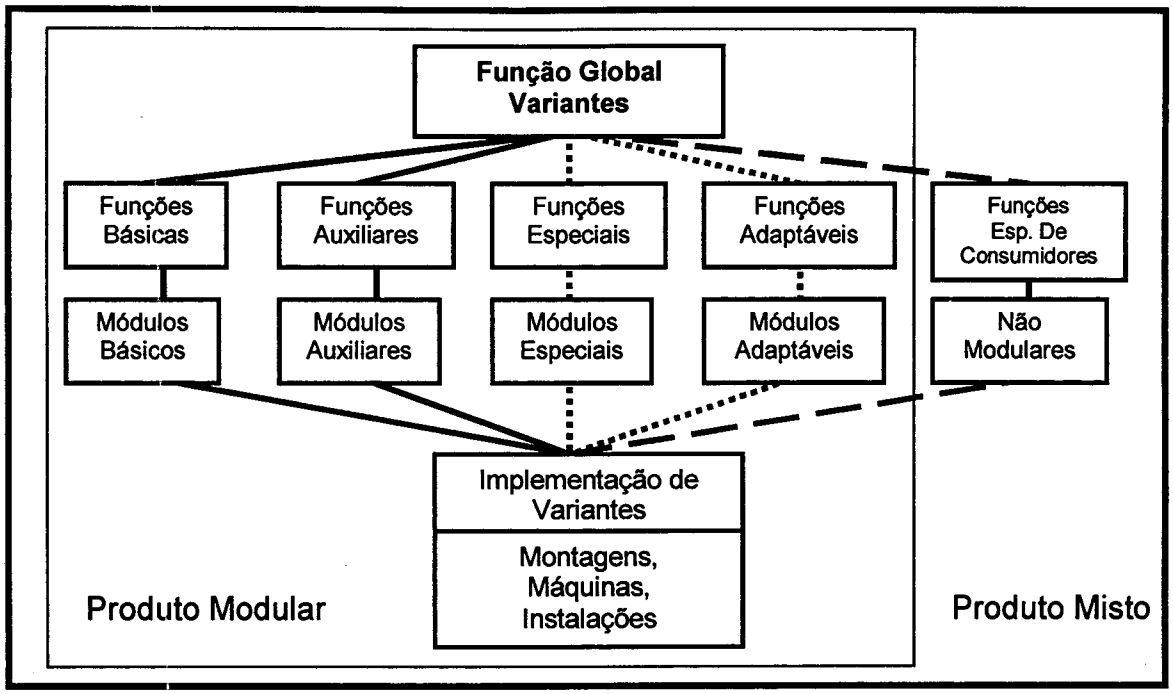


FIGURA 4.4 Tipos de funções e módulos de produtos modulares e mistos.
Fonte: Pahl e Beitz, 1996

2. IMPORTÂNCIA

- módulos essenciais
- módulos possíveis

Sendo que os primeiros fazem parte da configuração do sistema e os segundos não aparecem necessariamente em todas as configurações.

3. COMPLEXIDADE

É um aspecto orientado para a produção, aqui se distinguem:

- Módulos grandes, podem ser subdivididos em componentes
- Módulos pequenos que são os componentes

4. COMBINAÇÃO

- Somente módulos similares
- Somente módulos diferentes
- Módulos diferentes e similares

- Módulos e não módulos

5. RESOLUÇÃO

Um outro aspecto identificado pelos autores é a resolução dos módulos, onde consideram, a quantidade de partes individuais em que pode ser dividido um sistema por razões funcionais ou de produção.

- número de unidades individuais e suas possíveis combinações.

6. CONCRETIZAÇÃO

O nível de materialização dos produtos modulares depende muito do produto a ser desenvolvido e produzido.

- Módulos do produto disponível em software (e papel)
- Módulos construídos

7. APLICAÇÃO

Pela aplicação de sistemas modulares dividem-se em:

- Sistemas modulares fechados expresso por plano de combinação com um número finito e previsível de variantes
- Sistemas modulares abertos com grande possibilidade de combinação

4.6. CLASSIFICAÇÃO DA MODULARIDADE

[Ulrich, 1991] menciona cinco formas em que a prática industrial usa a modularidade para explorar a padronização dos componentes e alcançar variedade na produção. O autor menciona que qualquer produto pode usar vários tipos de modularidade ou um misto.

1. Modularidade permutando componentes

Acontece quando podem ser juntados dois o mais tipos de alternativas de um componente com o mesmo produto básico o que cria produtos diferentes que pertencem a mesma família do produto. Exemplos deste tipo de modularidade se apresentam na fabricação do computador onde podem ser juntados tipos diferentes de disco rígido, monitor e teclados mantendo o mesmo CPU básico.

2. Modularidade compartilhando componentes

Com esta modularidade, o mesmo componente básico é usado em famílias de produtos diferentes. Exemplo deste tipo são a mesma sapata do freio, alternadores, vela de ignição em diferentes famílias de automóveis, alguns destes componentes são usados até mesmo em produtos de fabricantes diferentes.

No caso de computadores esta modularidade acontece quando é utilizado o mesmo processador ou o monitor em diferentes famílias do produto. Este tipo de modularidade é muito parecida com a modularidade de troca de componentes com a diferença de que esta última envolve diferentes componentes com o mesmo produto básico e a de compartilhar envolve diferentes produtos básicos utilizando o mesmo componente.

3. Modularidade para adequação à fabricação

É o uso de um o mais componentes padronizados com um ou mais componentes adicionais variados. Freqüentemente a variação é associada com as dimensões físicas que podem ser modificadas. Exemplo de este tipo é a carcaça da impressora que pode ser modificado para acomodar qualquer largura de papel.

4. Modularidade através de barramento

É usada quando o produto com duas ou mais interfaces podem ser combinados com qualquer seleção de componentes de um conjunto de tipos de componentes. As interfaces aceitariam qualquer escolha do conjunto de componentes em qualquer combinação. Este tipo de modularidade permite a variação no número e localização dos componentes no sistema enquanto as outras permitem unicamente uma variação no tipo de componentes utilizados em uma arquitetura idêntica do produto. Exemplos deste tipo seriam os sistemas elétricos e eletrônicos em computadores.

5. Modularidade seccional

Permite uma coleção de componentes escolhida de um conjunto de tipos de componentes ser configurado de um modo arbitrário. Cada componente teria um, dois o mais interfaces permitindo construir uma seqüência e estrutura em forma de árvore. Esta modularidade permite variação na estrutura básica do produto.

Exemplos de esta modularidade são os sistemas de tubulação na industria, e no caso de brinquedos os bloques de lego.

Na FIGURA 4.5 estão representados os diferentes tipos de uso da modularidade. Onde cada ilustração é uma descrição em ícones de três produtos hipotéticos que podem surgir.

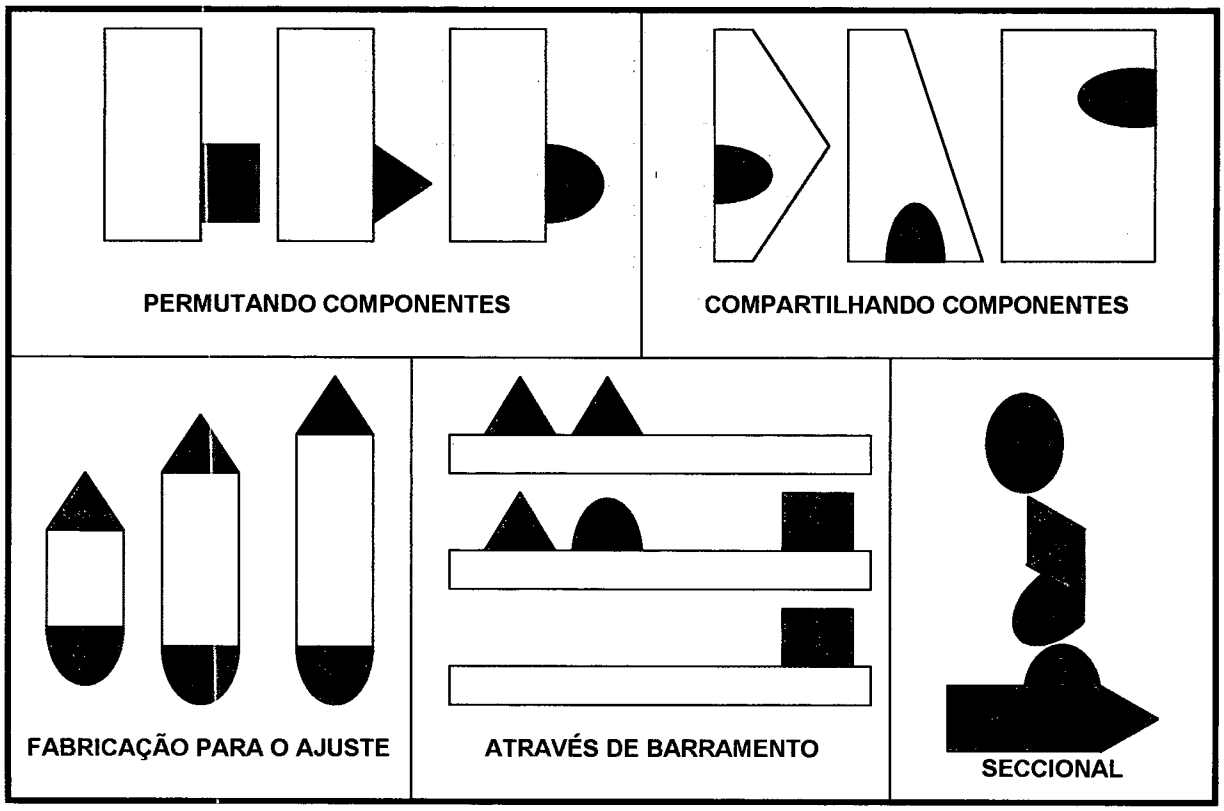


FIGURA 4.5 Cinco diferentes usos de modularidade com componentes padrão e produtos variados. Fonte: Ulrich ,1991

4.7. BENEFÍCIOS E DESVANTAGENS DA MODULARIDADE

Várias são as vantagens da modularidade que são caracterizadas por alguns autores como se segue

⇨ **No custo**

- Usar o mesmo componente em variedades de produto e em famílias de produtos

- Padronizar componentes já que a função do componente é bem definida e porque a interação eventual entre um componente e o resto do produto tem sido minimizadas.
- Volume de produção é superior já que um componente é usado em muitas linhas de produtos, a diferença do componente usado para um produto em particular.
- Redução do custo pela aquisição de peças padronizadas existentes no mercado
- Reduzir o custo na parte de consumo do produto (lamina de barbear)

⇨ **No produto:**

- Facilidade de intercâmbio do produto, sendo que esse câmbio pode surgir pelas necessidades dos clientes como pela inovação tecnológica

⌦ Reuso de elementos de um produto existente, tornando um produto reformado e o ciclo de vida estendido

- Permite grande variedade de produtos finais construídos de muitos conjuntos de componentes diferentes
- Capacidade para usar uma de várias alternativas de opções de componentes para implementar um elemento funcional de projeto
- Interfaces entre componentes podem ser bem definidas
- Permite projetar um produto separado para cada aplicação desejada
- Fácil adaptação do produto para diferentes mercados e sua atualização através da alteração de módulos

⇨ **Na produção**

- Com o desacoplamento das tarefas, componentes individuais podem ser produzidos e testados separadamente. Isso beneficia os processos de projeto e produção já que podem ser realizadas tarefas paralelas, o que produz uma redução no tempo de ciclo.

- A divisão de um produto em componentes permitem que o projeto e a produção possam ser focalizadas e especializadas.
- Facilita a montagem

⇨ **No projeto**

- Desenvolvimento global do produto e prazos de entrega são reduzidas.
- Documentação pronta para a proposta de diferentes produtos da maneira mais rápida
- Desempenho melhorado devido a projetos mais elaborados

⇨ **No teste**

- Os elementos dos componentes em um projeto modular tem função particular, a função de componentes é bem definida e o teste funcional seria possível.

⇨ **No consumo**

- Fica fácil diferenciar o consumo dos componentes que são consumidos mais rápido que o resto do produto (saco do aspirador de pó, lamina de barbear e filme).

⇨ **Na manutenção, conserto e descarte**

⌦ Essas vantagens ocorrem depois que o produto é posto em uso, já que o componente pela modularidade é fácil de ser removido, consertado, reusado, substituído.

⌦ Rapidez no conserto do produto.

⇨ **Na reciclagem**

⌦ Possibilita a reciclagem, possuindo módulos fáceis de serem desmontados e garantindo a qualidade do componente.

⌦ Identificação fácil de componentes que podem ser reprocessados e processados.

Não podemos deixar de observar que existem algumas desvantagens na modularidade do produto sendo estas:

- As mesmas propriedades que fazem que um projeto seja fácil de usar novamente pelo fabricante fazem que o projeto possa ser copiado pela concorrência.
- Se a modularidade é usada como uma forma de fabricar produtos com base em componentes padronizados, existe o risco de não cumprir perfeitamente com os requisitos de alguns clientes.
- Os componentes usados em várias linhas de produção podem ter capacidade excessiva
- Pode-se perder qualidade em relação a projetos especiais sem módulos ou não modulares.
- Custo mais elevado de projeto e manufatura das interfaces dos módulos.

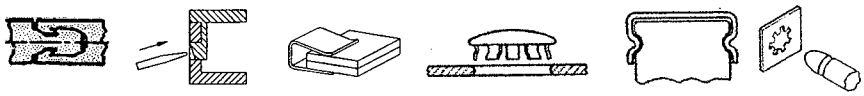
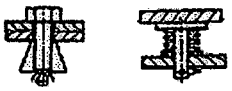
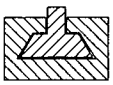
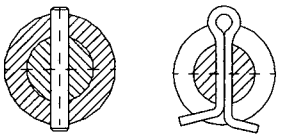
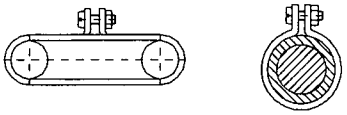
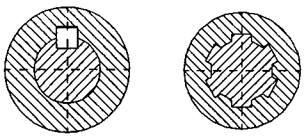
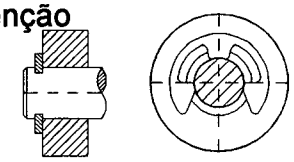
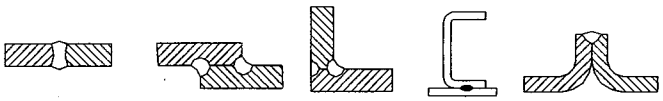
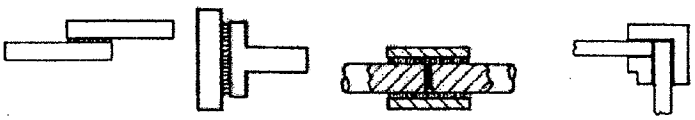
4.8. CONEXÕES

A divisão de um produto em componentes depende da definição das interfaces. Para [Pizzato , 1998] as interfaces são as principais responsáveis pelas características de flexibilidade e versatilidade dos sistemas modulares.

TABELA 4.2 Definição dos tipos de interfaces

TERMO	DEFINIÇÃO
Interfaces fixas	▪ São os meios ou as formas de conectar um módulo ao outro através de elementos padronizados de maneira que os módulos conectados permaneçam unidos para desempenharem determinadas funções. Em outros casos, tais formas de conexão devem permitir que os módulos unidos possam transmitir forças.
Interfaces móveis	▪ São os meios ou as formas utilizadas para transmitir energia na forma de rotação, forças alternadas, etc., entre dois ou mais módulos.
Interfaces de comunicação	▪ São os meios ou as formas utilizadas para transmitir fluidos, eletricidade, etc, entre dois ou mais módulos.

Os processos que existem para manter a conexão (interface) entre sistemas ou unidades de um sistema são todas as categorias de uniões por forma, força e material. Na FIGURA 4.6 são mostrados alguns processos e elementos de união.

Categorias	Princípio de conexão
FORMA	União por pressão 
	União por grampo 
	União por compressão 
	União por forma 
	União por cavilha, pino elástico 
	União por faixa, abraçadeiras 
	União por chaveta, eixos estriados 
	União por anel elástico, arruela de retenção 
MATERIAL	Soldagem 
	Colagem 

	Brazagem
FORÇA	Junta magnética
	Junta por encaixe
	Junta velcro
	Junta parafusada
	Junta rebitada

FIGURA 4.6 Processos e elementos de união.

É relevante lembrar, que as interfaces estão diretamente relacionadas com os parâmetros de entrada e saída estabelecidas na síntese funcional do sistema, assim como dos parâmetros geométricos espaciais de suas respectivas concepções de projeto.

4.9. METODOLOGIAS DE PROJETO DE PRODUTO

Para solucionar cada problema no desenvolvimento de produto os projetistas têm consciência que não existe uma ferramenta específica, que seja capaz de proporcionar uma solução efetiva para os diversos problemas que surgem ao longo da fase de projeto na tentativa de otimizar o produto.

Segundo [Ullman, 1992 *apud* Fonseca ,1996] o projetista precisa ter consciência que deve possuir duas habilidades básicas: habilidade para organizar o trabalho e habilidade para solucioná-lo criativamente. A habilidade para organizar o trabalho é a chave para o início do projeto e isso tem a ver com a metodologia que o ajudará no desenvolvimento do projeto.

[Hubel, 1984 *apud* Fonseca ,1996] entende que metodologia, é uma abordagem sistemática, de grande valor para todo aquele que inova, desenvolve, constrói, organiza ou cria. Dessa forma, consideramos que a metodologia é uma seqüência lógica de etapas, que oferecem ao projetista um caminho cronológico, que forma um modelo que é quase comum a todos os projetos.

Algumas metodologias de projeto encontradas na bibliografia apresentam passos sistemáticos de projeto e tarefas que orientam o desenvolvimento do mesmo. Para [Back e Forcellini, 1997] essas estruturas de processo de projeto tem sido melhoradas ao longo do tempo, servindo de ferramenta básica aos projetistas.

A seguir serão expostas, sucintamente, sistemáticas gerais para o desenvolvimento do produto assim como sistemáticas de projeto de produtos modulares, destacando em cada uma de forma gráfica, as fases de definição da tarefa e concepção que são o escopo deste trabalho. Uma das metodologias para o desenvolvimento de produtos está representada na FIGURA 4.7

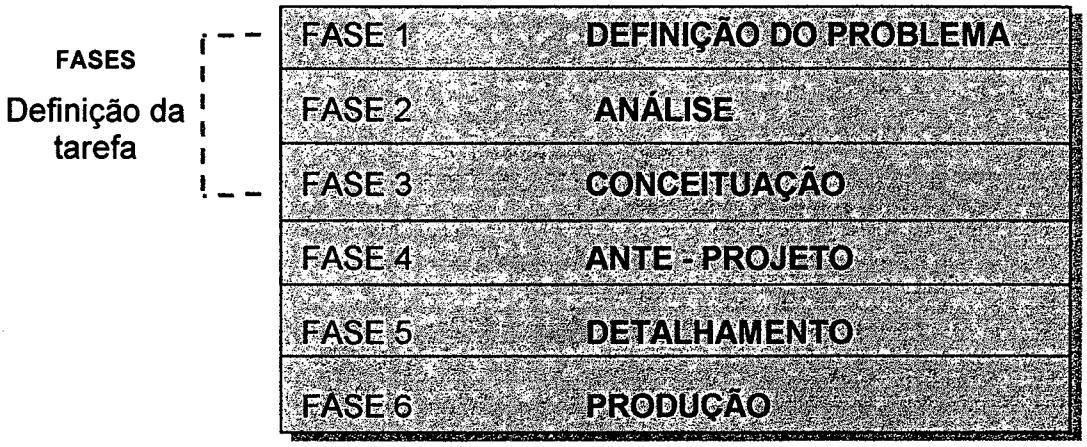


FIGURA 4.7 Metodologia para o desenvolvimento de produtos.

Fonte: Barroso, 1998

Uma outra metodologia é a de Phal e Beitz mostrada na FIGURA 4.8, considerada uma das mais importantes no desenvolvimento de produtos, onde o processo é subdividido em quatro fases, numa alternância entre passos de trabalho e decisão.

Cada passo de decisão determina, o prosseguimento do processo ou uma repetição, do passo de trabalho anterior com um nível de informação mais elevado,

sempre com o intuito de alcançar os melhores resultados e constatar deficiências e falhas o mais cedo possível.

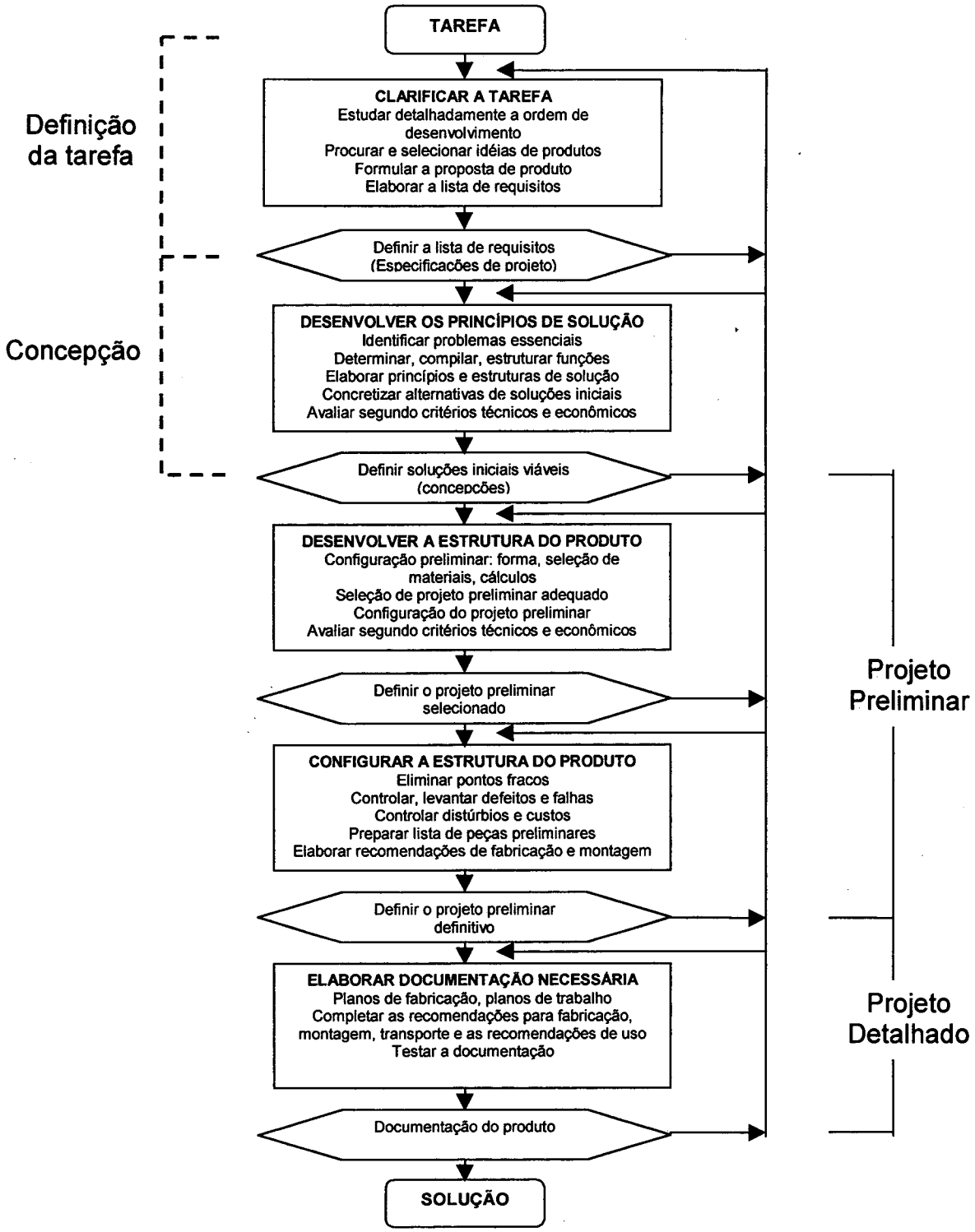


FIGURA 4.8 Metodologia de projeto.

Fonte: Pahl e Beitz, 1996 *apud* Pizzatto ,1998]

Esta sistemática é considerada de abordagem clássica é uma metodologia geral para produtos convencionais que reflete a linha de pesquisa

alemã. Na FIGURA 4.9 a sistemática de [Beitz, 1993 *apud* Martins, 1997] propõe, que em cada passo de projeto, existam tarefas orientadas para o projeto para reciclagem e a possibilidade de mudanças interativas entre um ou mais passos.

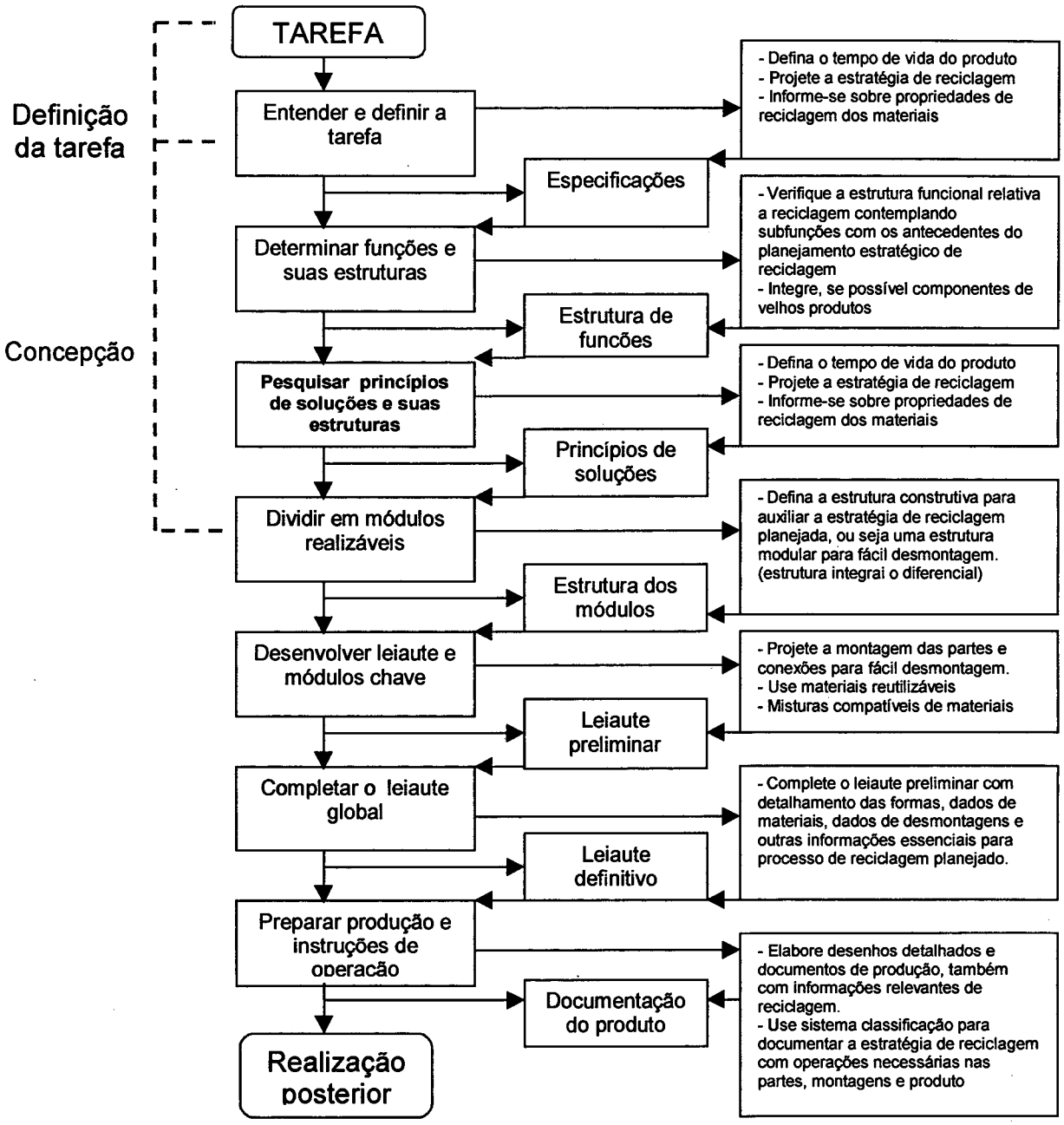


FIGURA 4.9 Metodologia de projeto.

Fonte: Beitz, 1993 *apud* Martins, 1997

Esta sistemática apresenta além de uma orientação funcional, um enfoque ambiental determinado para a reciclagem do produto e sugere o desenvolvimento de uma estrutura modular do produto para auxiliar a estratégia da reciclagem. Mesmo assim, a modularidade é mencionada de forma superficial sem

proporcionar os passos de uma sistemática de produto modular que sirva para apoiar as decisões do desenvolvimento do produto respondendo as necessidades ambientais.

A seguir, são apresentadas algumas sistemáticas de projeto de produtos modulares encontradas na bibliografia que permitem a estruturação do produto de forma modular e algumas delas oferecem benefícios ambientais ao produto. A FIGURA 4.10 mostra esquematicamente a metodologia de [Gu, et al. ,1997] a mesma que consiste em três fases: definição de problema, análise de interação e formação do módulo.

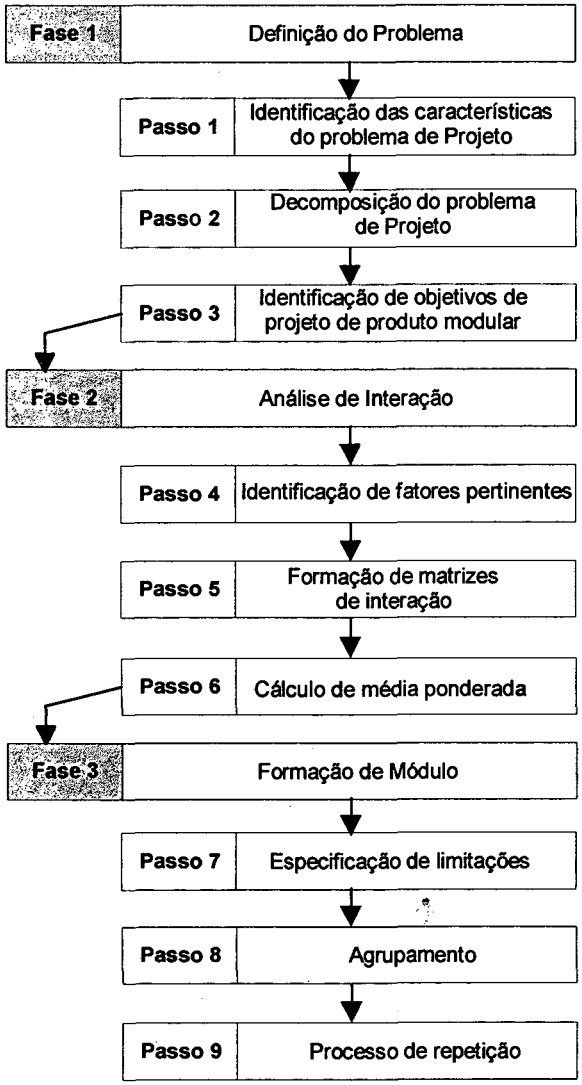


FIGURA 4.10 Metodologia de projeto de produto modular de Gu, et al. ,1997

A sistemática apresentada considera a modularidade do produto. Os autores mencionam a utilização matrizes de interação, o uso de equações e algoritmo genético para a definição da estrutura modular do produto.

Cabe mencionar que os autores consideram objetivos de ciclo de vida do produto, e reciclagem. E apontam a necessidade de agrupar em um mesmo módulo componentes que tenham um ciclo de uso similar, e outros poderiam ser agrupados pela mesma reusabilidade. A FIGURA 4.11 mostra a seguir a sistemática de Pahl e Beitz, op. Cit.,) para produtos modulares.

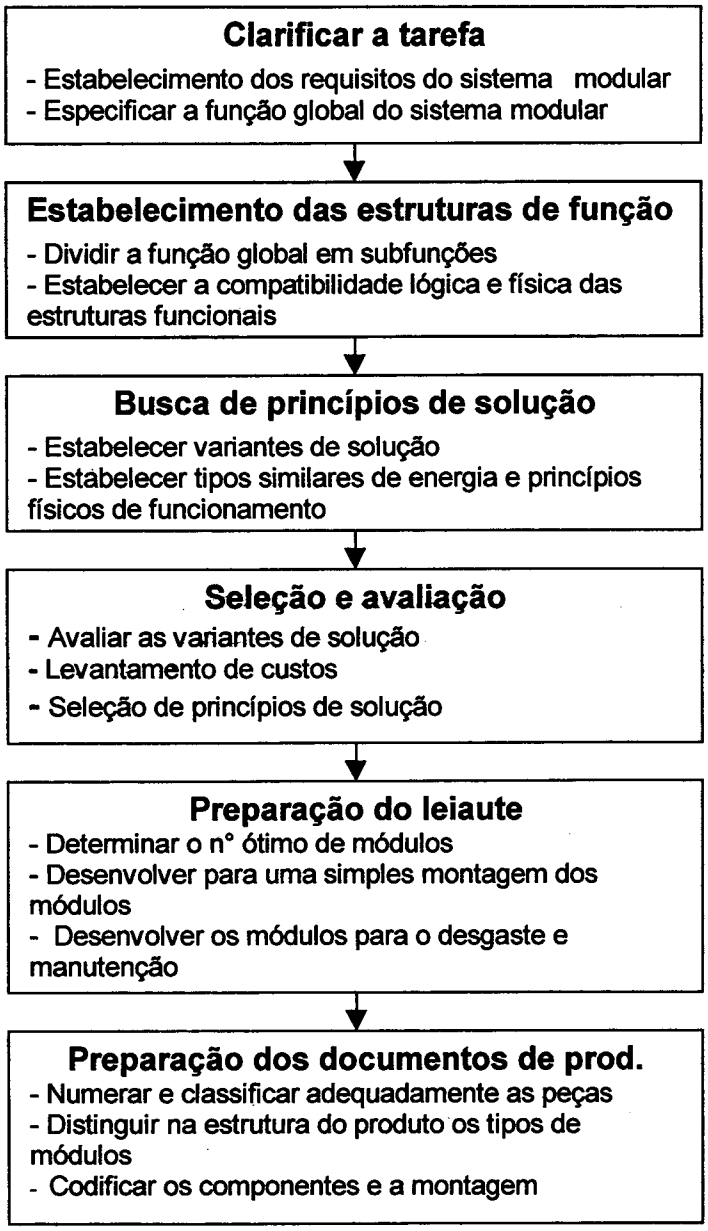


FIGURA 4.11 Sistemática de produtos modulares de Pahl e Beitz

A determinação do número ótimo de módulos é uma tarefa complexa que esta influenciada por vários fatores, assim, os autores recomendam :

- Manter os requisitos e a qualidade. Considerar, que maiores números de componentes individuais e encaixes podem ter repercussões adversas na função.
- As variantes da função global devem ser desenvolvidas para uma simples montagem dos módulos.
- Os módulos podem ser divididos, somente quando as condições da função, qualidade e custos, forem favoráveis.
- Nos produtos modulares colocados no mercado como sistemas globais, cujas variantes podem ser montadas pelos próprios clientes, os módulos mais comuns devem ser projetados para o desgaste e para uma fácil manutenção.
- Quando é determinada a modularidade do produto, os projetistas tem que considerar o custo não somente no projeto mas em todo o ciclo de vida.

[Erixon - Yxkull e Arnström, 1996] apresentam um método mais abrangente do que as sistemáticas anteriores.

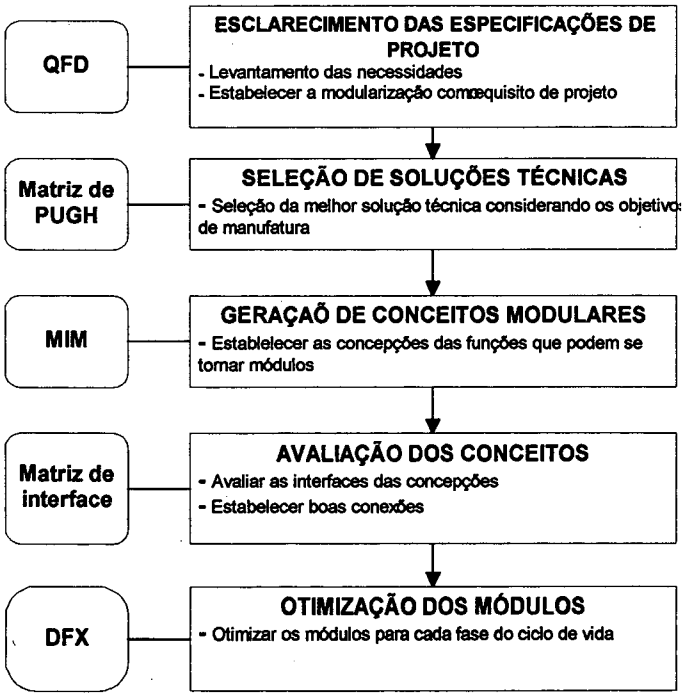


FIGURA 4.12 Sistemática de projeto modular Erixon - Yxkull e Arnström, 1996

A metodologia desenvolvida é denominada pelos autores como **MFD** (*Modular Function Deployment*) Desenvolvimento da Função Modular, está baseada em diretrizes para modularidade e conta com o auxilio de ferramentas como o QFD (Quality Function Deployment) e (Pugh Selection Matrix) Matriz de Seleção de Pugh.

A Matriz de Seleção de Pugh permite fazer a seleção de soluções técnicas considerando os objetivos de manufatura. [Back e Forcellini,1997] destacam que esta matriz de seleção é simples e eficiente para uma comparação direta, como mostra a FIGURA 4.13.

O método interativo de avaliação, neste caso serve para medir a capacidade de cada solução técnica de atender os requisitos de manufatura. Após os conceitos serem comparados, os escores que podem ser obtidos:

+ como **+1** Solução atende ao requisito positivamente

- como **-1** Solução não atende ao requisito

0 como **0** Solução não afeta nem positiva nem negativamente

		Soluções Técnicas		
Requisitos de Produção	P	-	+	0
		-	-	+
		-	0	-
	E	-	+	+
		0	0	0
	S	-	+	-
		0	0	0
	O	-	+	-
	S	-7	+4	-1
TOTAL GLOBAL				
PESO TOTAL				

FIGURA 4.13 Matriz de avaliação de Pugh

Os autores também recomendam, o uso de diretrizes de modularidade mostradas na TABELA 4.3 e que são critérios que consideram todo o ciclo de vida.

TABELA 4.3 Diretrizes para projeto modular fonte Erixon et al., 1996

Desenvolvimento de Produtos	▪ Propagação ▪ Evolução tecnológica ▪ Projetar mudanças de projeto	▪ Subfunção pode ser um módulo separado, quando a solução tecnológica atual, pode ser usada em uma nova geração de produtos ▪ Subfunção pode ser um módulo, se existe a possibilidade da tecnologia mudar durante o ciclo de vida. ▪ Uma subfunção pode ser um módulo se possui características que podem ser mudadas de acordo como o plano
Variação	▪ Especificação técnica ▪ Estilo	▪ Concentrar alterações para conseguir variantes em cada módulo ▪ Uma subfunção pode ser um módulo separado para facilitar a adaptação à influencia de tendências e moda, de tal maneira que as formas e/ou as cores possam ser alteradas.
Fabricação	▪ Unidade comum ▪ Processo/Organização	▪ Uma função poderá ser separada em um módulo se a mesma possuir a mesma solução física em todos os produtos ▪ Razões para separar uma função num módulo são: ▫ Ter uma tarefa específica no conjunto ▫ Estar ajustada ao conhecimento tecnológico da empresa ▫ Possui uma montagem fácil ▫ Ter um tempo de ciclo diferente
Qualidade	▪ Testado separadamente	▪ Uma função poderá ser separada em um módulo quando esta função possa ser testada separadamente
Aquisição	▪ Compra	▪ Uma subfunção pode ser uma caixa preta para reduzir custos logisticos
Pós Venda	▪ Manutenção ▪ Atualização ▪ Reciclagem	▪ Manutenção fácil se a função fica em um módulo separado ▪ O melhoramento é facilitado se a função é um módulo separado ▪ Pode ser uma vantagem para concentrar materiais permitindo concentrar materiais poluentes ou recicláveis em um mesmo módulo

As diretrizes são montadas em uma ferramenta que se denomina MIM (Module Indicate Matrix) a mesma que vai auxiliar na definição de quais funções podem tornar-se módulos e quais poderão ser agrupadas em um módulo.

Trata-se de uma matriz de interação onde é avaliada a relação entre as diretrizes e as funções selecionadas. A FIGURA 4.14 mostra a matriz de interação.

Funções / Diretrizes de modularidade	Função 1	Função 2	Função 3	Função 4	Função 5
Propagação					●
Evolução tecnológica			●		
Plano do projeto					
Especificação técnica					
Estilo					
Unidade comum	●			⊙	
Processo/Organização			●	●	
Teste separado	○		⊙		
Compra	⊙				
Manutenção	⊙		●		
Atualização					
Reciclagem				○	
	16	-	30	22	0

Símbolos usados para a matriz
● Forte
⊙ Médio
○ Fraco

Integrar num único módulo?

FIGURA 4.14 Matriz de indicação de módulos MIM . Fonte: Erixon et al. 1996

No exemplo apresentado, os autores destacam as funções 3 e 4 que são fortes candidatas a serem módulos, em função da pontuação atingida no somatório.

Os autores recomendam o uso de ferramentas do tipo DFX a onde como foi visto no Capítulo 3 correspondem as diversas ferramentas como DFE (Design for environment), DFA (Design for assembly), DFD (Design for disassembly), DFR (Design for reciclability) entre outras, para que os módulos sejam otimizados para cada etapa do ciclo de vida. Por exemplo, um módulo que vai ser escolhido por questões de reciclagem, precisa ser projetado para facilitar a desmontagem. Além das diversas ferramentas, os autores aconselham usar, a matriz MIM.

Na FIGURA 4.15 é apresentada uma proposta de sistemática de projeto para produtos modulares de [Pizzatto, 1998].

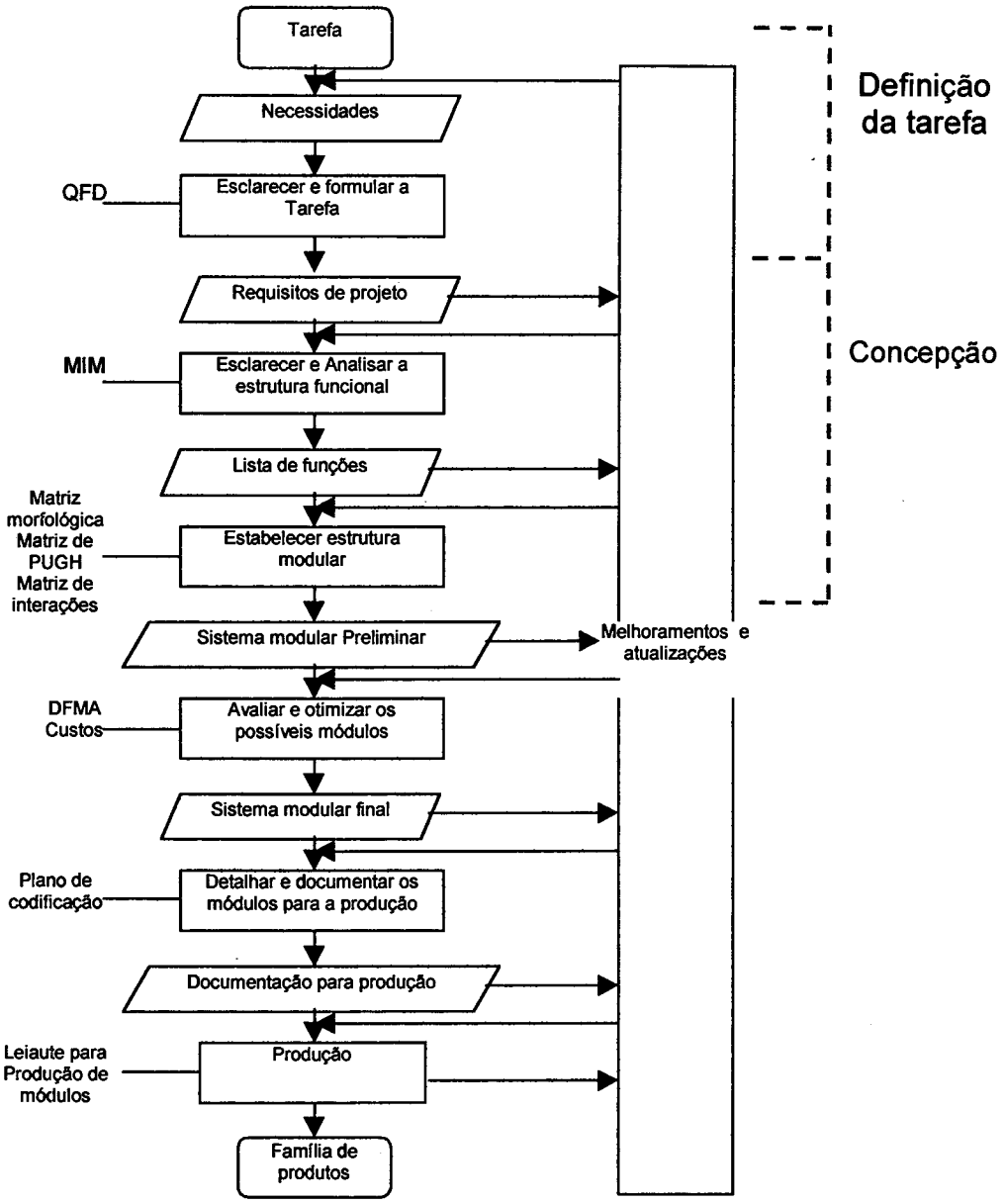


FIGURA 4.15 Metodologia de projeto Fonte: Pizzatto, 1998

Esta sistemática apresenta certas vantagens em relação com as anteriores, sendo que indica o uso de ferramentas como o QFD , MIM, Matriz morfológica, Matriz de Pugh, ao longo das etapas de projeto possibilitando um apoio maior ao projetista. A sistemática está baseada na proposta da FIGURA 4.8 onde foi integrada a sistemática de [Erixon, et al. 1996] proporcionando um suporte no desenvolvimento do produto modular. A questão ambiental não é levada em

consideração, sendo portanto esta sistemática incompleta para o objetivo deste trabalho de pesquisa.

E na FIGURA 4.16 é mostrada a sistemática de Maribondo, et al. 1999

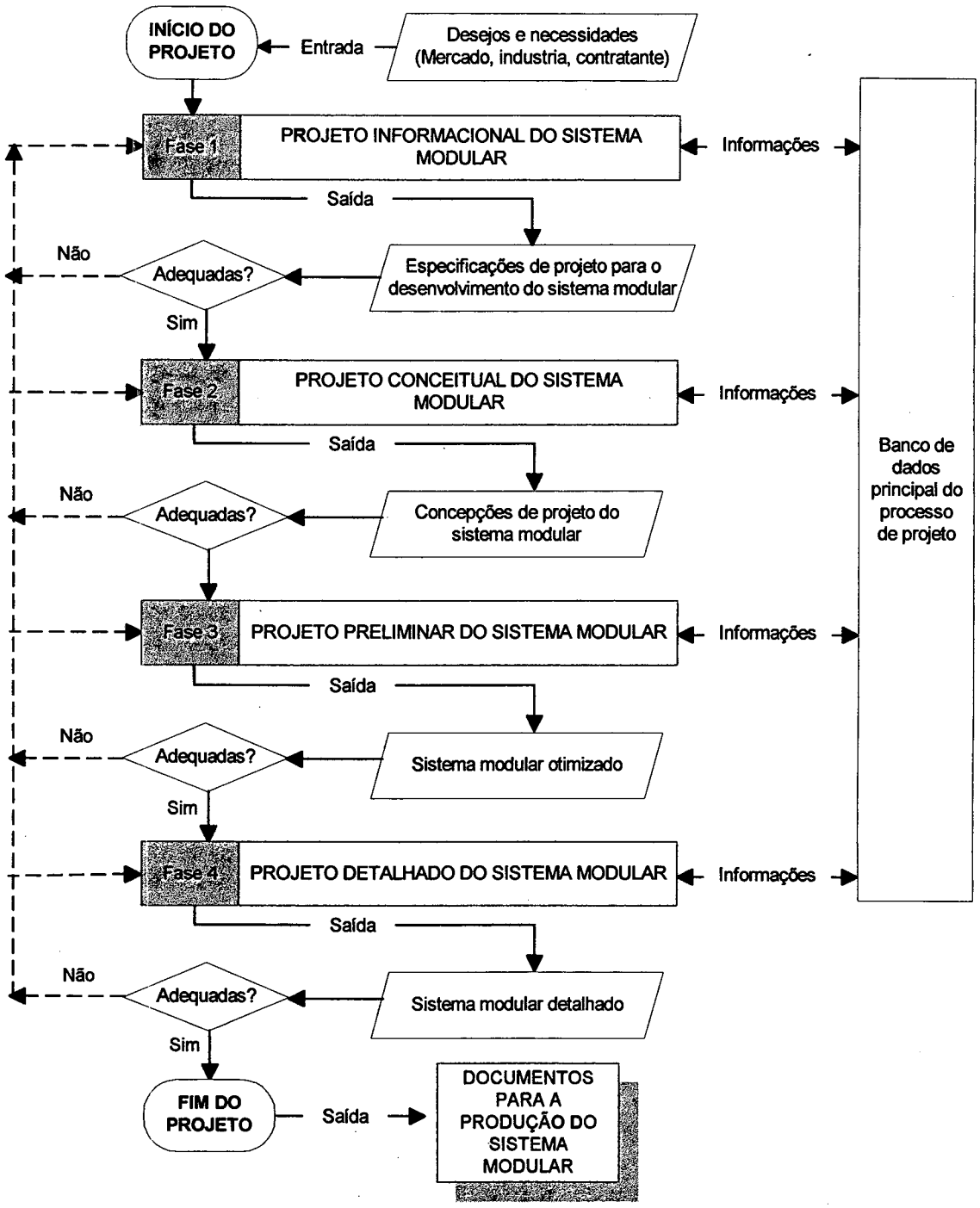


FIGURA 4.16 Metodologia de projeto de sistemas modulares

Fonte: [Maribondo, et al. 1999]

Como pode-se observar, torna-se claro que cada modelo de processo de projeto, é um conjunto de estágios, que vão desde a percepção das necessidades, até uma descrição final da configuração do produto. É necessário frisar que cada etapa das metodologias envolve por si só, uma seqüência de etapas, sub- processos ou operações.

Constatamos que as sistemáticas apresentadas mantêm uma seqüência onde uma decisão depende da anterior. A pretensão da sistemática proposta é a de permitir a toma de decisão associada a fatores ambientais de forma simultânea. Dessa forma a sistemática proposta pretende facilitar a tomada de decisões com o auxílio de ferramentas e diretrizes que nada mais são do que recomendações de projeto que devem ser observadas para a concepção de estruturas modulares de um produto, considerando características ambientais.

4.10. REQUISITOS DE PROJETO

[Back, 1993] enfatiza que "a única justificativa para o desenvolvimento de uma atividade de projeto, é a existência de necessidades reconhecidas". Desta forma, um dos primeiros passos no desenvolvimento do produto, é identificar quem são os clientes, ou seja, aqueles que serão afetados ou terão alguma relação com o produto a ser projetado. Assim sendo, o autor classifica em três tipos os clientes de projeto:

CLIENTES EXTERNOS: Conjunto de pessoas ou organizações que irão usar ou consumir o produto. Estes clientes desejam que os produtos tenham características tais como: qualidade, baixo preço de aquisição e manutenção, eficiência e segurança, durabilidade, confiabilidade, fácil operação, fácil descarte, visual atrativo (estéticos), incorporem as últimas tendências e desenvolvimentos tecnológicos e que sejam ecologicamente corretos.

CLIENTES INTERMEDIÁRIOS: Seriam aqueles responsáveis pela distribuição, vendas e marketing do produto. Estes, diz o autor, normalmente esperam que o produto satisfaça, todos o desejos e necessidades dos clientes externos, sendo fácil de embalar, armazenar e transportar, seja atrativo e que possa ser adequadamente exposto para o público.

CLIENTES INTERNOS: São os fabricantes e o pessoal envolvido no projeto e na produção dos produtos. Eles esperam que o produto seja fácil de fabricar, isso inclui facilidade na montagem, uso de recursos disponíveis (instalações, equipamentos, matéria prima e mão de obra), que utilize componentes padronizados, e produza um mínimo de refugos e partes rejeitadas.

A obtenção das necessidades dos clientes externos, intermediários e internos parecem ser ilimitadas, tanto em volume como em variedade, pois elas são influenciadas, por outras variáveis e tendências, tais como a cultura predominante da sociedade, o nível de tecnologia e atualmente pela preocupação ambiental caracterizada por:

- Acelerado esgotamento dos recursos naturais e comprometimento do meio ambiente.
- Respeito ao meio ambiente e defesa do desenvolvimento sustentado
- Maior consciência ecológica
- Procura de produtos "verdes"
- Tendência de produtos duráveis substituindo os efêmeros.

Os diversos requisitos que são manipulados no projeto, são o resultado das necessidades do cliente, existem várias técnicas para a captação dessas necessidades, algumas delas citadas por [Fonseca, 1996] são as seguintes:

- **QUESTIONÁRIO ESTRUTURADO**: é um método usual de coleta de necessidades e consiste na elaboração de questionários dirigidos a cada um dos diferentes usuários e clientes do projeto.

- **MÉTODO DE OBSERVAÇÃO**: onde as necessidades são captadas através da observação de como procedem os diferentes usuários na situação de uso e manipulação do produto; todas as ações que realizam, procedimentos de fabricação do mesmo, de reparação, de descarte, etc. Dessas observações são elaborados os critérios em forma de requisitos.

- **MÉTODO DE SIMULAÇÃO DE SITUAÇÕES**: é uma variante do método de observação pelo qual atravessará o produto durante toda a

sua vida útil, executando-se, em algumas ocasiões, simulações práticas ou simulações por computador.

- **MÉTODO DA BASE DE DADOS**: neste método, existem dados acumulados das prováveis necessidades dos diferentes usuários em todas as fases do ciclo de vida do produto e daí se extraem as necessidades que mais se assemelham ao novo produto.

O método de questionários, será utilizado neste trabalho para o estabelecimento das necessidades de cada setor, ao longo do ciclo de vida do produto, porém, cabe ter em mente que, um método híbrido de questionários estruturados, método de observação e base de dados, consiga de forma mais eficiente captar as necessidades dos clientes, mas, não sendo o intuito deste trabalho propor um método mais eficiente na captação de necessidades, esse comentário fica como uma sugestão para trabalhos futuros.

[Andrade, 1991 *apud* Back e Forcellini, 1997] propõe um conjunto de questões, que serve como guia básico para o estabelecimento das necessidades. As questões são organizadas em grupos considerando os principais elementos envolvidos no ciclo de vida de um produto. Os autores recomendam a sua expansão e detalhe de outras questões de acordo com cada caso. Um exemplo de questões é mostrado na TABELA 4.4

TABELA 4.4 Questões para o estabelecimento das necessidades

Clientes e mercado	Uso	Produção distribuição	Fatores ambientais
Quem são os clientes?	Quais devem ser as funções principais do produto?	Quantos produtos são produzidos?	Como o produto pode causar impacto ao meio ambiente?
O que os clientes gostariam de conseguir com o produto?	Quais devem ser as funções secundarias?	Quais materiais serão processados?	Quais são as tecnologias de reciclagem existentes?
Quantos clientes a empresa tem, e qual o tamanho do mercado?	Qual será o tempo de vida do produto?	Quais processos de fabricação e montagem são necessários e quais estão disponíveis?	Como o produto pode ser desmontado?
Como a empresa pode aumentar a sua participação no mercado?	Quais são as condições de segurança relacionada com as pessoas, produto e ambiente?	Como o produto será consertado?	Como o produto pode ser reciclado?

Ao final da etapa de obtenção, as necessidades dos clientes serão reunidas para esclarecer a formulação dos requisitos de projeto. Em decorrência da

quantidade e variedade das necessidades dos clientes, e o fato delas serem em muitos casos subjetivas, fica claro que o papel do projetista é transformar essas necessidades em requisitos técnicos de projeto. A FIGURA 4.17 mostra que o projeto, tem que levar em conta vários aspectos.

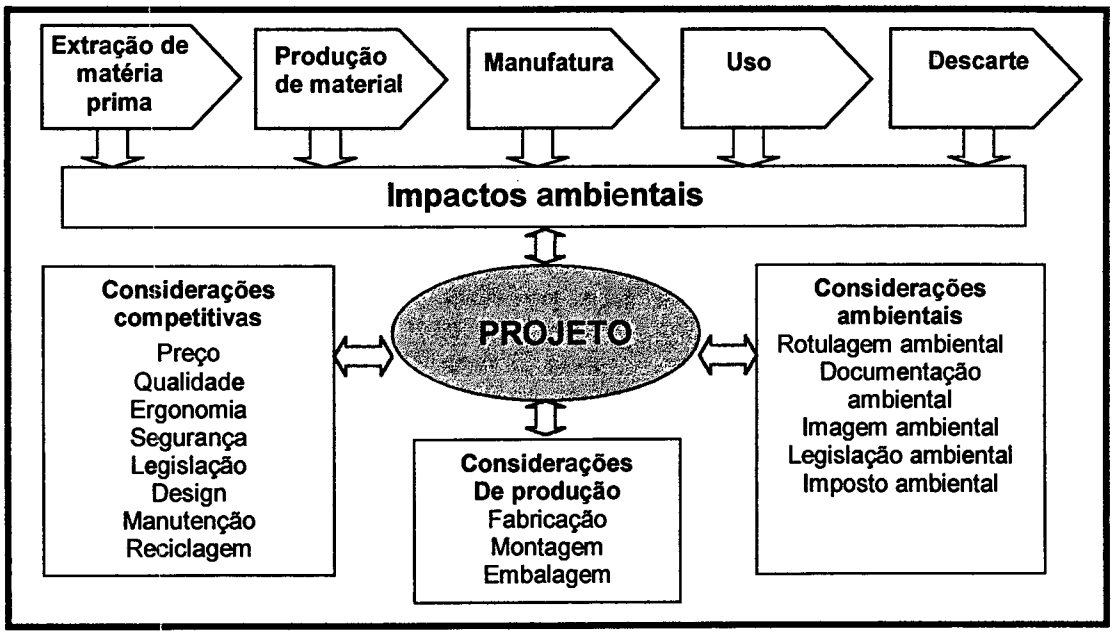


FIGURA 4.17 Integração de considerações no projeto.
Fonte : Adaptada de Alting, 1995

4.11. CONCLUSÕES

O Capítulo apresentou de forma ampla, as características do Sistema Modular, mostrando, que além de possibilitar uma grande variedade de produtos, permite o desenvolvimento de produtos que facilitam a manutenção, reciclagem e reuso dos componentes, alcançando dessa forma o melhoramento da ecologia industrial, através da redução do uso de matéria prima, e do impacto ambiental ocasionado pelo descarte massivo de produtos industriais.

Passando pelas definições de modularidade, classificação dos módulos e finalmente sistemáticas de projeto modular, foi possível mostrar, que projeto modular envolve muitos assuntos técnicos, tornando uma tarefa complexa. Conclui-se daí, a necessidade do uso de várias ferramentas para auxiliar o desenvolvimento de projeto de produto modular.

As diversas sistemáticas apresentadas, oferecem seqüências lógicas de etapas, que permitem estruturar o produto de forma modular, destacamos que as metodologias consideram objetivos de ciclo de vida, mesmo que atribuam a eles menor prioridade. As sistemáticas que se apresentam adequadas para os objetivos deste trabalho, são a de [Pahl e Beitz] que fornece aspectos gerais a serem levados em conta, a de [Erixon et al. ,1996] que integra ferramentas para apoio na fase de projeto e a de [Maribondo, et al. ,1999] que apresenta uma sistemática apoiada em varias ferramentas.

Conclui-se, que para os objetivos deste trabalho, que busca uma sistemática que permita desenvolver um produto modular com características ambientais, as sistemáticas apresentadas anteriormente fornecem o embasamento para a estruturação de uma sistemática integrada que atribua prioridade aos objetivos de manutenção, troca de componentes e reciclagem a mesma à ser apresentada no próximo Capítulo.

CAPÍTULO 5

SISTEMÁTICA INTEGRADA DE PROJETO DE PRODUTO MODULAR COM ENFOQUE AMBIENTAL

5.1. INTRODUÇÃO

Nos Capítulos anteriores, foi estabelecido que o curto ciclo de vida das tecnologias de produtos eletromecânicos, junto com a demanda de clientes por uma ampla variedade de características, requer que os projetistas otimizem a modularidade dos componentes, para otimizar a desmontagem, conserto e reciclagem dos produtos industriais.

O impulso dado ao projeto ambiental DFE tem feito que os projetistas incluam o impacto ambiental entre os muitos outros requisitos dos produtos. Dessa forma, o desenvolvimento de produtos que provoquem menor impacto ambiental, requer que se leve em conta um grande número de características. Isso exige uma metodologia prática, que combine as várias considerações em forma simultânea permitindo a correta toma de decisões.

Nos Capítulos 3 e 4, foram estudadas algumas ferramentas, que têm surgido como apoio para o desenvolvimento de projeto de produtos industriais. Essas idéias, técnicas, teorias e conceitos reforçam a centralidade e importância do projeto para a competitividade da indústria; assim como a necessidade de uma integração das mesmas para otimizar o desenvolvimento de produtos.

O fato é, que essas ferramentas, não são aplicadas para solucionar todo tipo de problema, mas servem para proporcionar e estimular uma sistemática que seja mais ampla, profunda e simples; obtida pelo apoio de

ferramentas auxiliares nas diversas etapas da fase de desenvolvimento e pela combinação das diretrizes, ou seja, recomendações de projeto das técnicas de projeto apresentadas no Capítulo 3.

Este Capítulo, se propõe apresentar uma sistemática integrada de projeto de produto modular com enfoque ambiental, que sirva como suporte para apoiar as decisões de projeto, na fase conceitual do desenvolvimento do produto. Através desta sistemática, pretende-se que o produto, seja planejado pensando em todas as fases do seu ciclo de vida, principalmente ao final da sua vida útil, de forma a, facilitar a desmontagem, o reuso, e a reciclagem do produto ou seus componentes.

5.2. SISTEMÁTICA INTEGRADA MODULAR-AMBIENTAL (SIMA)

A sistemática modular - ambiental propõe que as interações entre os diversos fatores de projeto (função, desempenho, e o ambiente) sejam compreendidos de maneira simultânea.

Muitos estudos importantes têm sido desenvolvidos para o aperfeiçoamento de métodos e ferramentas para cobrir os diferentes aspectos do projeto de produto como foi apresentado no Capítulo 3. Essas ferramentas possuem as características e diretrizes para solucionar os problemas do complexo sistema do processo de desenvolvimento de projeto.

A metodologia proposta para projeto de produtos modulares com enfoque ambiental, foi desenvolvida a partir das considerações apresentadas nos Capítulos 3 e 4. Tomando por base três metodologias que são: a de [Beitz, 1993 apud Martins, 1997] da FIGURA 4.9 mostrada na página 77 a mesma que considera aspectos de reciclagem a serem levados em conta no planejamento; a de [Erixon et al. ,1996] da FIGURA 4.12 da página 80 que é uma sistemática de projeto de sistemas modulares e que integra ferramentas para apoio na fase de projeto, e a de [Maribondo, et al. ,1999] da FIGURA 4.16 da página 85 que apresenta uma sistemática apoiada em várias ferramentas.

O modelo desenvolvido também se apoia nas diretrizes das técnicas de projeto expostas no Capítulo 3 e 4, bem como os aspectos que foram levantados no Capítulo 2, pode-se concluir, que uma sistemática que integre nas suas etapas, ferramentas ambientais, torna a fase de projeto conceituai mais completa, facilitando a tomada de decisões que influenciem as propriedades ambientais tais como a seleção de materiais, estabelecimento de estruturas, componentes, montagem, desmontagem e reciclagem, permitindo que o produto obtenha uma estrutura modular com atributos ambientais.

5.2.1. DESCRIÇÃO GERAL DO MODELO

O modelo desenvolvido, constitui-se de uma integração de ferramentas dentro da metodologia de projeto de produto, com o objetivo de auxiliar o projetista para a tomada de decisões, observando as alternativas ecologicamente corretas, considerando as relações entre as diferentes funções operacionais, avaliando o grau de reciclabilidade do produto ou dos componentes e possibilitando a divisão do produto em componentes (módulos).

Dessa forma, oferece uma vantagem para o usuário final tornando possível a manutenção, atualização ou melhoramento, reuso e reciclagem do produto e/ou dos seus componentes.

A sistemática proposta, mostra a implementação lógica do processo de projeto para conceber produtos modulares de tal forma que possuam uma estrutura modular dentro de uma consciência ecológica.

A sistemática se apresenta em 4 etapas contempladas em duas fases desde a definição do problema até o estabelecimento da estrutura do produto modular - ambiental. Cada etapa contém ações básicas a serem desenvolvidas, assim como ferramentas para auxiliar o desenvolvimento. Na FIGURA 5.1 e mostrada esquematicamente a sistemática proposta.

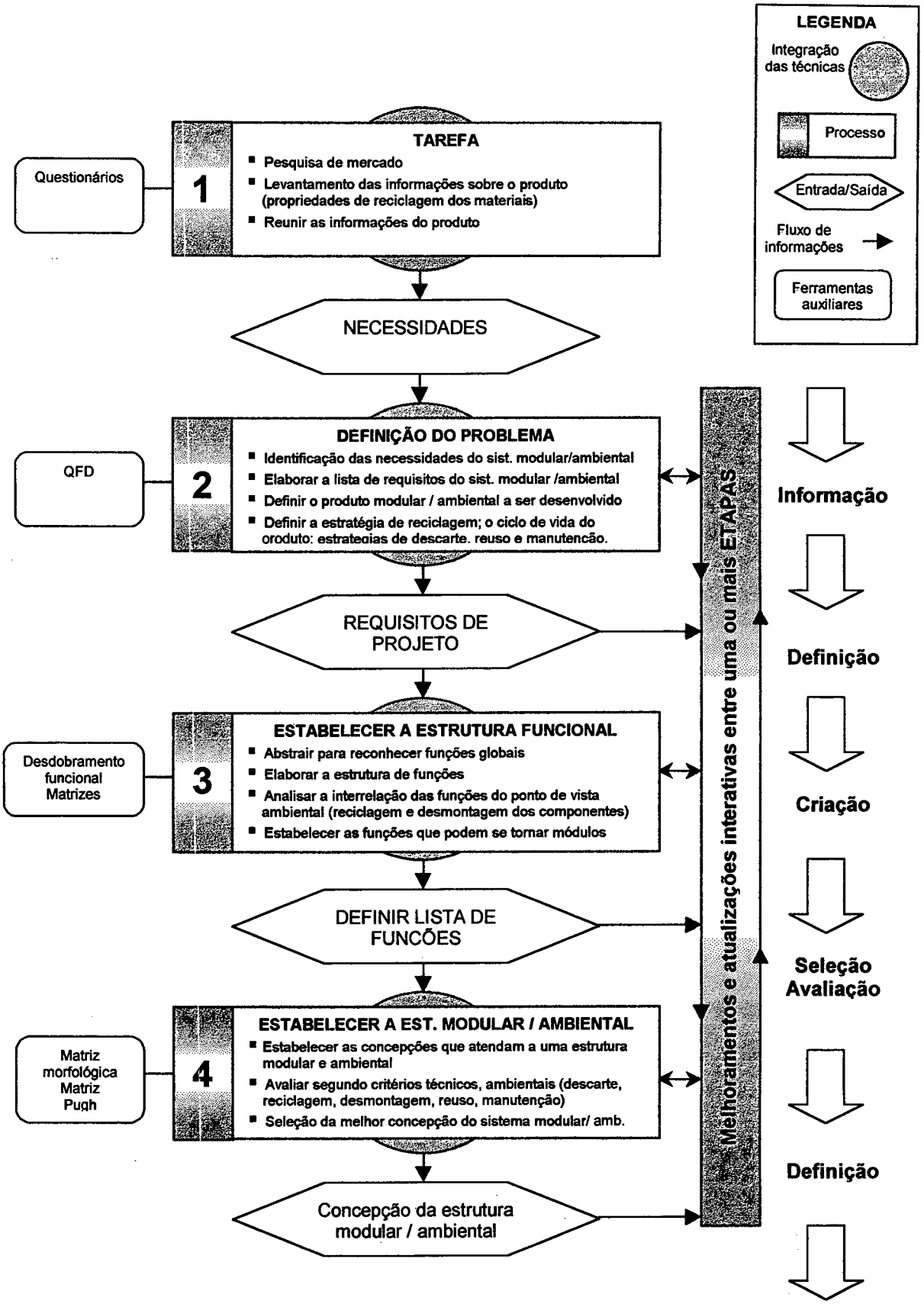


FIGURA 5.1 Proposta de Sistemática Modular - Ambiental na fase de projeto conceituai para produtos modulares

A sistemática integra critérios das ferramentas de projeto descritas no Capítulo 3. Dessa forma as ferramentas a serem integradas na sistemática são:

- **DFQ** (*Design for Quality*) **Projeto para a Qualidade**
- **QFD** (*Quality Function Deployment*) Desdobramento da função qualidade também chamada de **Casa da Qualidade.**
- **DFE** (*Design for Environment*) **Projeto para o Meio Ambiente**
- **DFLC** (*Design for Life Cycle*) **Projeto para o Ciclo de Vida**
- **DFD** (*Design for disassembly*) **Projeto para Desmontagem**
- **DFR** (*Design for Reciclabiiity*) **Projeto para Reciclagem**
- **MD** (*Modular Design*) **Projeto de produto Modular**

Para o estabelecimento da lista de funções a sistemática, na terceira etapa, vai usar algumas das diretrizes de cada ferramenta na forma de matrizes de inter-relação para analisar a relação entre as funções do produto, compatibilidade dos materiais, os aspectos ambientais para finalmente indicar os possíveis módulos.

Previamente será estabelecido o desdobramento funcional, [Pahl & Beitz ,1996 *apud* Pizzato ,1997] ressaltam a importância da estrutura funcional já que ela vai influenciar diretamente a estrutura final do produto modular.

As soluções para funções básicas devem ser determinadas através da melhor relação técnico - ambiental dos módulos. Assim as variantes das funções com menor relação técnico - ambiental devem ser eliminadas do sistema modular.

Cada módulo deve ter características ecologicamente corretas para que o produto como um todo possa ter a qualidade ambiental esperada. A integração das diretrizes de projeto das técnicas apresentadas nos capítulos 3 e 4 norteam as etapas da sistemática proposta. E a seguir são descritas as etapas da sistemática proposta.

5.2.1.1. ETAPA 1: TAREFA

Esta etapa entra em contato com o problema colocado. Inicia-se fazendo um levantamento abrangente de informações sobre desejos e expectativas dos clientes internos e externos para dessa forma responder as questões do problema proposto. São fixados os objetivos ambientais e de modularização.

Para o levantamento das informações, serão usados questionários com base nas questões para cada cliente [Fonseca, 1996], [Andrade, 1991 *apud* Back e Forcellini, 1997]. Os questionários servem como uma orientação geral, os mesmos devem ser adequados a cada caso. Podem ser vistos no QUADRO 5.1 ao 5.7 onde os objetivos de modularidade, manutenção, atualização tecnológica e de estilo; reciclagem e descarte estão implícitos nas questões.

QUADRO 5.1 Questionário 1

QUESTIONÁRIO 1

CLIENTE INTERNO 1 (Projetistas):
NOME OU CÓDIGO DO PROJETO:
DATA:

1. Qual deve ser a função principal do produto?
2. Qual deve ser o uso do produto?
3. Qual deveria ser a normalização do produto?
4. Qual será o tempo de vida do produto?
5. Que elementos de conexão facilitariam a desmontagem do produto?
6. Qual deveria ser a seqüência de produção e montagem?
7. Qual deveria ser a seqüência de desmontagem para facilitar a manutenção e a reciclagem?
8. Qual seria o melhor sistema modular / ambiental do produto?
9. Como o projeto pode contribuir para reusar o produto ou componentes no final da sua vida útil?
10. Quais componentes deveriam ser módulos separados para facilitar a manutenção, desmontagem e reciclagem?
11. Que materiais passíveis de reciclagem podem ser usados no produto?
12. Qual deveria ser o plano de manutenção do produto?
13. Como garantir um longo do ciclo de uso do produto?
14. Como atender aos desejos dos usuários?
15. Outras questões

Observações:

QUADRO 5.2 Questionário 2

QUESTIONÁRIO 2

CLIENTE INTERNO 1 (Setor de produção):
NOME OU CÓDIGO DO PROJETO:
DATA:

1. Qual o processo de produção proposto?
2. Qual processo alternativo pode ser desenvolvido?
3. Qual a viabilidade produtiva?
4. Que impactos ambientais estão sendo considerados?
5. Quais materiais serão processados e quais podem ser substituídos?
6. Qual o fluxo de montagem a ser usado?
7. Como facilitar a montagem do produto?
8. Qual o uso de peças padronizadas?
9. Qual a viabilidade de desmontagem?
10. Que tipo de resíduos ambientais são emitidos?
11. Qual a viabilidade de redução de resíduos?
12. Que componentes podem ser módulos separados?
13. Que componentes podem usar materiais (plásticos/metais) recicláveis?
14. Qual deveria ser a rotulagem ambiental do produto e dos componentes?
15. Outras questões

Observações:

QUADRO 5.3 Questionário 3

QUESTIONÁRIO 3

CLIENTE EXTERNO 1 (Usuário):
NOME OU CÓDIGO DO PROJETO:
DATA:

1. Quais devem ser as funções principais do produto?
2. Quais devem ser as funções secundárias do produto?
3. Quais são os requisitos ergonômicos do produto?
4. Qual deveria ser o custo aceitável do produto?
5. Qual deveria ser o peso do produto?
6. Qual o tamanho esperado do produto?
7. Quais deveriam ser as condições de segurança e manutenção do produto?
8. Qual espera seja o tempo de vida do produto?
9. Qual deveria ser o plano de descarte do produto?
10. Espera uma atualização do produto ?
11. Quais componentes deveriam ser atualizados?
12. Como fazer uma limpeza fácil do produto?
13. Que cores e design acha compatíveis com o produto?
14. Qual o seu grau de aceitação para um produto ecologicamente correto?
15. Outras questões

Observações:

QUADRO 5.4 Questionário 4

QUESTIONÁRIO 4

CLIENTE EXTERNO 2 (Empresa de reciclagem):
NOME OU CÓDIGO DO PROJETO:
DATA:

1. Qual a tecnologia disponível de reciclagem?
2. Qual a proposta de descarte do produto?
3. Qual a possibilidade de reciclagem da embalagem?
4. Qual a possibilidade de reciclagem dos componentes e do produto?
5. Qual o grau de complexidade na reciclagem do produto?
6. Qual o impacto ambiental do produto?
7. Qual o custo do processo de reciclagem?
8. Qual será o fluxo de desmontagem do produto?
9. Qual a melhor localização para a rotulagem ambiental dos materiais nos componentes?
10. Quais operações dependentes da desmontagem?
11. Quais componentes podem ser reciclados facilmente?
12. Quais componentes podem ser reaproveitados e qual o grau de reaproveitamento?
13. Que tipos de conexões facilitam a desmontagem?
14. Que materiais de alto valor devem ser rotulados a fim de favorecer a separação?
15. Outras questões

Observações:

QUADRO 5.5 Questionário 5

QUESTIONÁRIO 5

CLIENTE INTERMEDIÁRIO 1 (Empresa de manutenção):
NOME OU CÓDIGO DO PROJETO:
DATA:

1. Qual a facilidade de manutenção do produto?
2. Qual a manutenção preventiva?
3. Qual a possibilidade de atualização dos componentes ou do produto ?
4. Qual o grau de complexidade do produto?
5. Quais componentes podem ser reusados em outros produtos?
6. Qual o custo da manutenção?
7. Quanto tempo o produto fica na oficina?
8. Qual o tempo de vida de uso do produto?
9. Que problemas são os mais comuns?
10. Qual o uso de componentes modulares de reposição?
11. Qual a dificuldade de desmontagem?
12. Quais elementos de fixação facilitam a desmontagem?
13. Qual a dificuldade de encontrar as peças de reposição?
14. A empresa fornece dados ou catálogos de assistência técnica?
15. Outras questões

Observações:

QUADRO 5.6 Questionário 6

QUESTIONÁRIO 6

CLIENTE INTERMEDIÁRIO 2 (Setor de transporte):
NOME OU CÓDIGO DO PROJETO:
DATA:

1. Como o produto será transportado?
2. Quais os mecanismos de manipulação?
3. Qual o sistema de armazenagem?
4. Qual o sistema de empilhamento?
5. Quais as dificuldades no transporte?
6. Quais as dificuldades no empilhamento?
7. Que sistema de modulação beneficiaria no transporte?
8. Qual a periodicidade de transporte do produto?
9. Que tipo de embalagem facilitaria o transporte?
10. Que tipo de cuidados devem ser tomados para garantir a qualidade do produto durante o transporte?
11. Outras questões

Observações:

QUADRO 5.7 Questionário 7

QUESTIONÁRIO 7

CLIENTE INTERMEDIÁRIO 3 (Empresa comercializadora e ou distriuidora):
NOME OU CÓDIGO DO PROJETO:
DATA:

1. Qual o custo aceitável do produto em relação a sua concorrência em termos de qualidade e funcionamento?
2. Qual o aspecto estético exigido pelos clientes?
3. Quais as características de uso exigidas pelos clientes?
4. Qual o grau de facilidade de manipulação do produto?
5. Que funções poderiam ser agregadas ao produto?
6. Quais são as necessidades de armazenamento e exposição do produto?
7. Que tipo de embalagem beneficiaria a venda?
8. Que assessoria técnica se espera da empresa?
9. Que tipo de garantia de serviço e manutenção é desejada pelo cliente?
10. Quantidade de produtos vendidos?
11. Quais são os principais concorrentes do produto?
12. Qual o grau de demanda de um produto ecologicamente correto?
13. Existe demanda para produto com redução do impacto ambiental?
14. Que tipo de reclamação já foi feita pelos usuários do produto?
15. Outras questões

Observações:

De modo a ampliar as informações coletadas dos questionários é recomendável levantar informações sobre o produto concorrente, tendências de desenvolvimentos futuros bem como conhecer as normas, regulamentos ambientais e as diretrizes das diversas técnicas de desenvolvimento de projeto. A integração das diretrizes das técnicas acontece desde cedo na sistemática proposta, norteando a tomada de decisões.

Após o levantamento das informações dos diversos clientes do produto, será elaborada uma lista de requisitos onde serão definidas quais as necessidades mais importantes que devem ser atendidas, classificadas com sua importância relativa (grande, média, pequena) as quais dão suporte para a próxima etapa, estabelecer os requisitos de projeto.

5.2.1.2. ETAPA 2: DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Esta etapa consiste na identificação das necessidades do sistema modular / ambiental, assim como a elaboração da lista de requisitos de projeto.

Com os dados e a quantificação das necessidades que foram geradas na etapa anterior são convertidas as necessidades nos requisitos de projeto. É importante que as informações que irão caracterizar o produto estejam de acordo com a linguagem técnica de projeto. A lista precisa ser adequada a cada projeto, mantendo sempre características técnicas em relação as questões modulares e ambientais, permitindo serem mensuradas.

Nesta etapa como mostrado na FIGURA 5.2 é empregada a ferramenta **QFD** Casa da Qualidade, onde serão avaliados os requisitos do usuário fornecidos pelos questionários dos QUADROS 5.1 a 5.7 que na matriz serão " O QUE " os clientes (internos e externos) necessitam. As necessidades serão classificadas em grupos considerando as etapas do ciclo de vida do produto: produção, montagem uso, função, desmontagem, manutenção, impacto ambiental, descarte, reciclagem. Os requisitos do usuário são transformados em linguagem de projeto, ou seja, características técnicas possíveis de serem mensuradas, são os " COMO " atender as necessidades do consumidor.

A matriz da casa da qualidade a ser utilizada no trabalho, gera computacionalmente as interações entre os as necessidades e os requisitos da qualidade, assegurando dessa forma rapidez para que as necessidades dos clientes sejam realmente alcançadas. Na FIGURA 5.2, é apresentado um exemplo da matriz a ser utilizada na sistemática proposta.

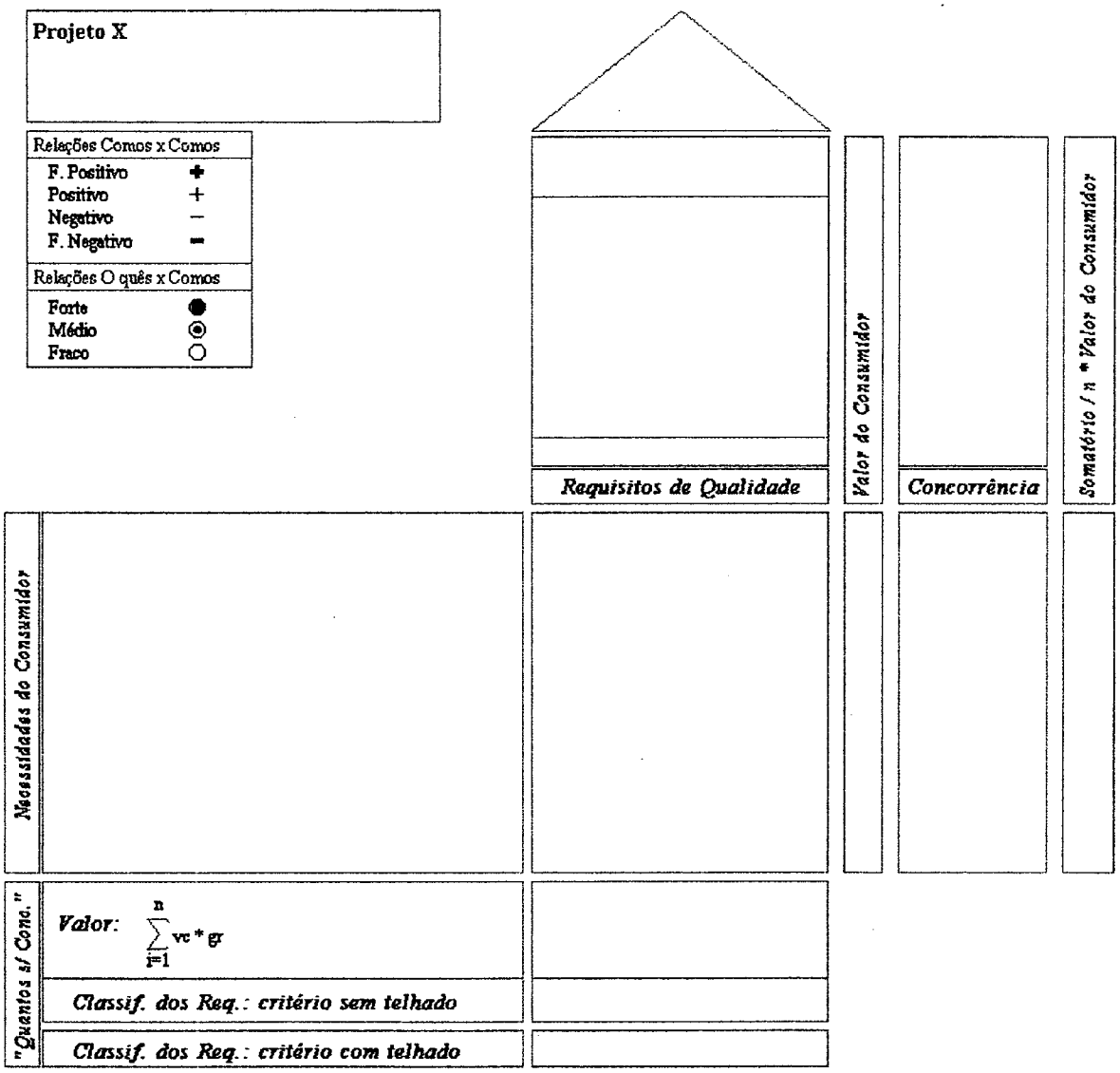


FIGURA 5.2 QFD Casa da Qualidade

Com a matriz teremos a possibilidade de identificar o valor de importância de cada necessidade permitindo auxiliar de forma eficiente a tomada de decisões estratégicas para que o produto tenha as características ecológicas desejadas.

Os requisitos de projeto fornecidos pela Casa da Qualidade são associados a um valor meta gerando um conjunto de informações que são as especificações de projeto de produto.

5.2.1.3. ETAPA 3: ESTABELECER A ESTRUTURA FUNCIONAL

Partindo dos requisitos definidos na etapa anterior, nesta etapa é preciso abstrair para reconhecer e elaborar a estrutura de função global e suas subfunções. Uma boa solução é conseqüência da escolha do princípio mais adequado, considerando que em esta etapa isso não depende de detalhes construtivos. A importância das variantes da função global são subdivididas em um número mínimo de funções similares menos complexas e mais bem controláveis. É preciso nesta etapa reconhecer a compatibilidade física e o equilíbrio entre os princípios de solução associáveis.

O projeto de produto modular exige considerar um conjunto de fatores que afetam ao produto. Nesta etapa vai ser usado o desdobramento da estrutura funcional, decompondo a função global em funções mais simples.

A estrutura de funções é uma ferramenta que permite a determinação e visualização das diversas funções do sistema como um todo, de forma que a análise de todas as suas partes permita um estudo mais adequado para a escolha do arranjo a ser implementado no sistema. Dessa forma, o desdobramento de funções pode ser usado para um projeto novo ou de inovação como para um reprojeto.

Considerando que em produtos novos, as funções parciais, bem como as relações entre elas são, via de regra, desconhecidas. Nestes casos, a procura por funções parciais e a elaboração da estrutura ótima de funções passa a ser um dos passos mais importantes da fase de concepção. Já em reprojetos, pode-se chegar a soluções por eliminação ou agrupamento de funções ou por mudanças nas conexões entre elas.

Na estrutura de um produto a relação entre os diversos fatores (materiais, funções, reciclabilidade e outros) não é necessariamente linear e tornas-se necessário o uso de alguma técnica para auxiliar na descoberta das

conexões entre estes fatores. Assim, para gerar um conjunto de soluções para as funções e que as mesmas tendam a um reduzido impacto ambiental, um maior tempo de uso, fácil desmontagem, fácil reciclagem, possibilidade de reuso e troca de componentes, nesta etapa serão utilizadas matrizes de inter-relação (simétricas) e de restrição (assimétricas) que foram desenvolvidas para fornecer um efeito visual de interpretação.

Para a construção das matrizes, consideramos fatores como as funções e/ou componentes que compõem a estrutura do produto e fatores como reciclabilidade dos materiais e diretrizes de projeto que dependem dos aspectos ambientais que devem ser ressaltados. As relações estabelecidas são o tipo de interação que se quer identificar entre os fatores, a interação neste caso é funcional, e construtiva.

As relações nas matrizes são relativas, isto é, foram estabelecidos graus de intensidade e adotados valores como, por exemplo compatibilidade total (1), compatibilidade parcial (2) e total incompatibilidade (3) para assim poder estabelecer as melhores soluções para o sistema modular a ser desenvolvido.

A FIGURA 5.3 mostra a matriz I de interação que relaciona as funções do sistema, apontando a dependência ou independência entre elas. A mesma matriz pode ser utilizada para indicar o relacionamento das funções, determinando quais funções apoiam uma a outra e quais são conflitantes entre si, ou seja, permite a visualização de como uma função influência em outra. Da mesma forma que acontece no telhado da Casa da qualidade.

A FIGURA 5.4 mostra a matriz II que relaciona a compatibilidade entre os componentes considerando a reciclagem dos materiais e na FIGURA 5.5 a matriz III relaciona os componentes com algumas diretrizes (recomendações de projeto) da TABELA 5.1 previamente selecionadas pela equipe de projeto. As matrizes permitem visualizar uma indicação de modularidade dos componentes e redução de materiais diferentes. Deve-se ter em mente que podem ser utilizadas matrizes para visualizar outro tipo de relação que o desenvolvimento do produto precise.

	FUNÇÃO 1	FUNÇÃO 2	FUNÇÃO 3	FUNÇÃO 4	FUNÇÃO 5	FUNÇÃO 6	FUNÇÃO 7	FUNÇÃO 8	FUNÇÃO 9	FUNÇÃO 10	Grau de dependência
FUNÇÃO 1											
FUNÇÃO 2											
FUNÇÃO 3											
FUNÇÃO 4											
FUNÇÃO 5											
FUNÇÃO 6											
FUNÇÃO 7											
FUNÇÃO 8											
FUNÇÃO 9											
FUNÇÃO 10											

Dependência das funções

○ = 1 Independência
● = 2 Dependência

FIGURA 5.3 Matriz I - Dependência das funções do sistema

	COMPONENTE 1 (FUNÇÕES)	COMPONENTE 2 (FUNÇÕES)	COMPONENTE 3 (FUNÇÕES)	COMPONENTE 4 (FUNÇÕES)	COMPONENTE 5 (FUNÇÕES)	COMPONENTE 6 (FUNÇÕES)	COMPONENTE 7 (FUNÇÕES)	COMPONENTE 8 (FUNÇÕES)	COMPONENTE 9 (FUNÇÕES)	COMPONENTE 10(FUNÇÕES)	Grau de compatibilidade
COMPONENTE 1											
COMPONENTE 2											
COMPONENTE 3											
COMPONENTE 4											
COMPONENTE 5											
COMPONENTE 6											
COMPONENTE 7											
COMPONENTE 8											
COMPONENTE 9											
COMPONENTE 10											

Compatibilidade do material (reciclagem)

● = 1 Compatibilidade total
◐ = 2 Compatibilidade parcial
○ = 3 Total incompatibilidade

FIGURA 5.4 Matriz II - Compatibilidade dos materiais entre os componentes do sistema

TABELA 5.1 Compilação das diretrizes para o desenvolvimento de projeto de produto das ferramentas apresentadas nos Capítulos 3 e 4.

DN°	DIRETRIZES
D 1	▪ Desenvolver processos alternativos de fabricação
D 2	▪ Considerar os impactos ambientais dos materiais
D 3	▪ Substituir os componentes tóxicos
D 4	▪ Considerar o descarte do produto
D 5	▪ Facilitar a reciclagem
D 6	▪ Facilitar a desmontagem
D 7	▪ Utilizar materiais reciclados
D 8	▪ Reutilizar o produto e/ou seus componentes
D 9	▪ Reduzir a utilização de recursos naturais e de energia
D 10	▪ Utilizar tecnologias apropriadas e limpas
D 11	▪ Utilizar materiais (plásticos/metais) recicláveis
D 12	▪ identificar os componentes para facilitar a desmontagem e a reciclagem
D 13	▪ Estabelecer especificações ambientais
D 14	▪ Usar Menos material e processos ambientalmente nocivos
D 15	▪ Usar materiais renováveis
D 16	▪ Usar menos energia em todas as fases do ciclo de vida do produto
D 17	▪ Aumentar o ciclo de vida do produto e as possibilidades de manutenção e reparação
D 18	▪ Projetar de maneira e estimular a reciclagem e o reuso
D 19	▪ Reduzir o trabalho de recuperação e reciclagem das partes e materiais do produto
D 20	▪ Maior uniformidade e previsibilidade na configuração do produto
D 21	▪ Remoção de partes por meios manuais e automáticos
D 22	▪ Redução da variabilidade dos produtos
D 23	▪ Usar materiais compatíveis
D 24	▪ Agrupar materiais nocivos em submontagens
D 25	▪ Fácil aceso a partes nocivas, valiosas e reusáveis
D 26	▪ Evitar a combinação com materiais corrosivos e perecíveis.
D 27	▪ Usar elementos de fixação fáceis de remover ou destruir
D 28	▪ Minimizar elementos de fixação
D 29	▪ Prover um fácil acesso à pontos de separação, de quebra ou corte
D 30	▪ Colocar elementos principais na base
D 31	▪ Evitar colocar metais em partes plásticas (monomaterial)
D 32	▪ Eliminar superfícies possíveis de desgaste

D 33	▪ Evitar acabamentos secundários (pintura, revestimentos etc.)
D 34	▪ Prover sinais ou cores diferente para mostrar materiais separáveis
D 35	▪ Evitar partes e materiais que possam estragar os equipamentos
D 36	▪ Usar partes e subpartes padronizadas
D 37	▪ Incluir sinal no ponto de quebra
D 38	▪ Marcas de separação para uso de ferramentas
D 39	▪ Não combinar materiais que envelheçam
D 40	▪ Não combinar materiais corrosivos
D 41	▪ Proteger grupos de materiais contra a sujeira e corrosão
D 42	▪ Usar materiais compatíveis
D 43	▪ Rotulagem para facilitar a percepção das montagens
D 44	▪ Rotulagem indicando o tipo de material
D 45	▪ Diminuir a quantidade e variedade de parafusos e rebites
D 46	▪ Desenvolver o produto para desmontagem simples e pessoal não treinado
D 47	▪ Especificar as várias funções globais que o sistema modulara deve cumprir
D 48	▪ Subdividir a função global em um mínimo de subfunções similares
D 49	▪ Estruturas de função das variantes da função global devem ser compatíveis lógica e fisicamente e as subfunções determinadas por elas devem ser intercambiáveis.
D 50	▪ Combinar varias subfunções em um único módulo
D 51	▪ Propor variantes sem mudanças no funcionamento e no desenho básico
D 52	▪ Definir claramente as interfaces permitindo o reuso o componentes
D 53	▪ Usar componentes padronizados
D 54	▪ Implementar varias funções através de um módulo simples inacabado que possa ser completado de varias formas dependendo dos requerimentos
D 55	▪ Calcular os custos de produção dos módulos individuais e seu custo no sistema modular como um todo
D 56	▪ Variantes da função global devem ser desenvolvidas para uma montagem simples dos módulos
D 57	▪ Módulos divididos somente quando as condições da função, qualidade, manutenção, atualização e custos forem favoráveis
D 58	▪ Módulos projetados para o desgaste e fácil manutenção
D 59	▪ Usar um sistema adequado de numeração e classificação das peças
D 60	▪ Utilizar um método de codificação para identificar o componente, a desmontagem manutenção, reuso, atualização e reciclabilidade
D 61	▪ Concentrar materiais poluentes ou recicláveis em um mesmo módulo
D 62	▪ Dividir os componentes que são consumidos mais rapidamente
D 64	▪ Converter os componentes em reposições
D 65	▪ Usar interfaces e componentes apropriadas para a reciclagem

	Grau de importância	COMPONENTE 1	COMPONENTE 2	COMPONENTE 3	COMPONENTE 4	COMPONENTE 5	COMPONENTE 6	COMPONENTE 7	COMPONENTE 8	COMPONENTE 9	COMPONENTE 10	Grau de relação
DIRETRIZ 1												
DIRETRIZ 2												
DIRETRIZ 3												
DIRETRIZ 4												
DIRETRIZ 5												
DIRETRIZ 6												
DIRETRIZ 7												
DIRETRIZ 8												
DIRETRIZ 9												
DIRETRIZ 10												

Grau de Relação

● = 1 Relação boa
◐ = 2 Relação parcial
○ = 3 Relação fraca

Grau de importância

1 a 3

FIGURA 5.5 Matriz III

Relação dos componentes com as diretrizes da TABELA 5.1

Desta etapa resultam uma lista de funções bem como às relações de dependência e compatibilidade entre as funções, componentes e o atendimento aos critérios ambientais. As informações geradas nesta etapa serão úteis para a concepção da estrutura modular - ambiental que será estabelecida na próxima etapa.

5.2.1.4. ETAPA 4: ESTABELECER A ESTRUTURA MODULAR - AMBIENTAL

Nesta etapa são dadas formas às funções através de métodos ou procedimentos que auxiliam na geração de soluções. Para cada função parcial são procurados princípios de soluções. O método a ser usado na sistemática é o da matriz morfológica que consiste numa pesquisa sistemática de diferentes combinações de elementos. O método permite uma descrição gráfica da concepção que facilita nas fases posteriores do desenvolvimento de produtos.

É importante nesta etapa fazer um reconhecimento da compatibilidade física e ambiental entre os princípios de solução associáveis; assim como avaliar segundo critérios técnicos, ambientais o descarte, reciclagem, desmontagem, reuso, manutenção das concepções estabelecidas.

Após a geração das soluções se faz necessária a seleção do melhor conceito de solução. Assim será utilizada a matriz de seleção de Pugh que foi comentada no Capítulo 4 [pag. 81], a mesma que servirá para indicar as melhores alternativas para a tomada de decisões.

Pretende-se que as concepções selecionadas devem ser detalhadas com relação aos requisitos de projeto. Assim desenhos preliminares e modelação da solução são maneiras interessantes para se obterem esses dados. O resultado desta etapa é a concepção da estrutura modular com enfoque ambiental e os dados preliminares do projeto. Concluindo dessa forma a fase do projeto conceituai.

5.3. CONCLUSÕES

Neste Capítulo foram apresentadas algumas metodologias de projeto, mostrando que a preocupação com a questão ambiental é mínima. Assim sendo, foi proposta uma sistemática de apoio na fase conceituai do projeto, a mesma que considera aspectos ambientais como extensão do ciclo de vida do produto através da manutenção, atualização, reuso e considera também a reciclagem dos produtos e componentes.

A sistemática proposta integra várias diretrizes das técnicas de projeto que foram estudadas no Capítulo 3 e 4, potencializando os objetivos de modularidade e requisitos ambientais, usando diretrizes das mesmas o que permite ter uma visão mais abrangente das necessidades ao longo do ciclo de vida do produto.

O Capítulo descreve uma metodologia integrada de projeto de produto modular dividida em duas fases que são a da definição do problema e a de concepção da estrutura modular com enfoque ambiental, fases que estão divididas em dois etapas cada uma que permitem conceber um sistema

modular - ambiental que melhora a montagem, desmontagem, manutenção, reusabilidade e reciclabilidade do produto.

A sistemática desenvolvida é flexível e fácil de acompanhar, usa como ferramenta básicas o QFD Casa da Qualidade para a obtenção de requisitos de projeto; matrizes de inter-relação que foram desenvolvidas para facilitar a interpretação visual do relacionamento de dependência entre funções, de compatibilidade de materiais recicláveis dos componentes e dos componentes com critérios ambientais para indicar os possíveis módulos; desdobramento da estrutura funcional para decompor o problema e permitir a busca de princípios de solução para cada função, gerando uma lista de funções; o método da matriz morfológica para encontrar uma nova solução e a matriz de Pugh para indicar as melhores alternativas.

Ao final pode-se ter uma estrutura modular - ambiental preliminar. No próximo Capítulo é apresentado um estudo de caso cujo objetivo é a validação da sistemática proposta.

Se espera que a seqüência nas etapas de desenvolvimento de projeto como são o projeto preliminar e detalhado e que não fazem parte deste trabalho mas que podem vir a ser um trabalho futuro muito interessante, possam dar continuação a este trabalho e liberar para fabricação um produto de alta qualidade ambiental.

CAPÍTULO 6

APLICAÇÃO DA SISTEMÁTICA DE PRODUTO MODULAR COM ENFOQUE AMBIENTAL

6.1. INTRODUÇÃO

O presente Capítulo tem por objetivo validar e consolidar a sistemática para produto modular com enfoque ambiental (SIMA) proposta no Capítulo 5. Para a realização da aplicação foi utilizado um eletrodoméstico produzido pela indústria ELECTROLUX. A empresa ELECTROLUX é uma das maiores indústrias em nível mundial, produtora de eletrodomésticos como geladeiras, máquinas de lavar, aspiradores de pó, ar condicionado. Produz a cada ano 55 milhões de aparelhos.

Michael Treschow [1998], Presidente da ELECTROLUX reconhece que as considerações empresariais e ambientais vão de mãos dadas e que a proteção ambiental é a chave para a sobrevivência a longo prazo tanto para o indivíduo como para as corporações e para sociedade em geral. Dessa forma a preocupação da empresa com o meio ambiente é um componente das suas atividades assim como a marca do seu trabalho. Partindo dessa visão a empresa considera importante o desenvolvimento de produtos e processos ambientais assim como estimular a demanda desses produtos.

Contando com o apoio, cooperação e auxilio dos departamentos de projeto, manufatura, meio ambiente, qualidade, manutenção e vendas da empresa, foi possível realizar o estudo de caso, seguindo os passos da sistemática apresentada no Capítulo 5, permitindo a concepção da estrutura modular com enfoque ambiental do reprojeto de um aspirador de pó, assim como a obtenção dos resultados apresentados ao longo deste Capítulo.

6.2. ETAPA 1: TAREFA

A primeira etapa da sistemática inicia com a confrontação com o problema, que é possível pela análise de mercado, clientes internos e externos. É oportuno então levantar algumas considerações iniciais do produto e empresa.

Temos que um aspirador de pó é um sistema ou dispositivo que remove sujeira de superfícies, limpando efetivamente por meio da sucção. Os produtos a serem reprojetados são os aspiradores domésticos A10 e A20 da Electrolux, mostrados nas FIGURAS 6.1. e 6.2.

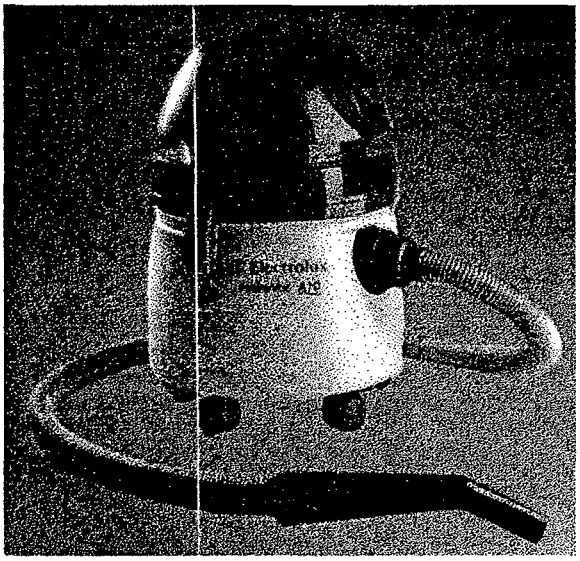


FIGURA 6.1 ASPIRADOR A10

Fonte: Electrolux, 1998

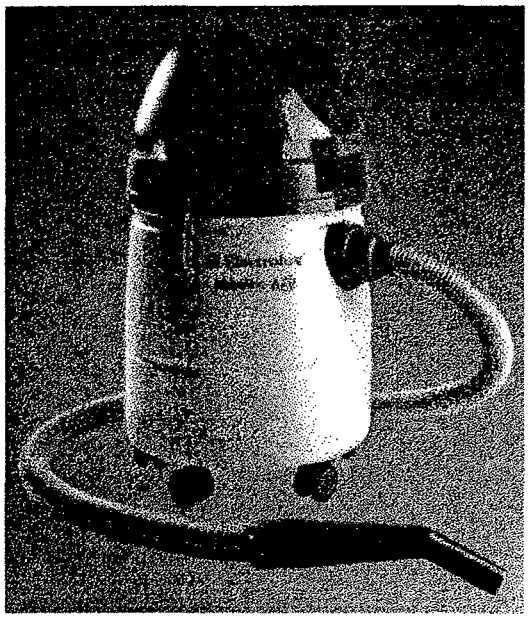


FIGURA 6.2 ASPIRADOR A 20

Fonte: Electrolux, 1998

A escolha dos aspiradores A10 e A20, foi decidida após uma reunião com funcionários da empresa em que foi colocado que estes produtos têm uma produção de 2000 unidades por dia, sendo o carro chefe dos aspiradores o mais vendido em sua categoria e enfrenta uma concorrência acirrada, portanto existe a intenção de renovar a imagem dos produtos e submetê-los a um reprojeto que será concluído em dezembro de 1999.

Em vista disto, a aplicação da sistemática SIMA no reprojeto de um produto potencializará ganhos concretos tornando significativa a validação da sistemática proposta, pois contribuirá diretamente com a empresa e a sociedade.

Uma vez escolhidos os produtos, procedeu-se a identificação dos mesmos, mostrando que realizam a mesma função de aspirar sólidos e líquidos. A diferença entre os dois produtos esta baseada na capacidade de armazenagem 5 - 10 litros de sujeira e 10 – 20 litros de água. Assim sendo, apresentam similares especificações técnicas mostradas na TABELA 6.1

TABELA 6.1 Especificações técnicas dos produtos

Aspirador de pó		A 10 – A 20	
Potência máxima (W)		1000	
Sucção (W)		240	
Vácuo máximo (mmH_20)		1170	
Capacidade nominal do saco	Litros	5	10
Dimensões Produto (mm)	Altura	520	620
	Largura	310	
	Profundidade	340	
Dimensões Embalagem (mm)	Altura	340	
	Largura	360	
	Profundidade	360	
Peso (kg)	Com acessórios	6,9	7,3
	Sem acessórios	5,9	6,3
	Bruto	8,6	9
Comprimento (m)	Mangueira	2,0	
	Cabo Elétrico	4,5	
Níveis de filtragem		5	

A sistemática pretende que os diversos componentes dos aspiradores sejam fáceis de montar, desmontar, permitindo uma fácil manutenção, flexibilidade dimensional podendo ajustar os baldes com capacidade de 10 e 20 litros, e principalmente possibilitar a reciclagem no final da vida útil.

A empresa por sua vez tem três objetivos: mudar a aparência do produto, reduzir os custos, e alterar o sistema de fabricação do recipiente.

Algumas das informações preliminares foram:

- Os produtos eletrodomésticos e seus componentes não são projetados no final da vida útil para serem reutilizados e/ou reciclados.
- Os aspiradores possuem uma boa qualidade e tecnologia de fabricação avançada.
- Os aspiradores usam diversos materiais que vão desde plásticos até aço.
- Os aspiradores da Electrolux possuem rotulagem de especificação do material em alguns componentes plásticos.
- Os aspiradores usam diversos elementos de fixação (parafusos, rebites, fechos de plástico).
- Os aspiradores da Electrolux possuem características que facilitariam a estrutura modular-ambiental.
- Os aspiradores A10 e A20 apresentam similares especificações técnicas.
- Alterar o sistema de fabricação do recipiente, desenvolvendo uma nova geometria e de material compatível com os outros componentes
- Os aspiradores A10 e A20 enfrentam concorrência de dois aspiradores hidro vácuo com design similar, eles são da marca ARNO com capacidade de 12 litros e da marca WAP com capacidade de 10 litros.

Ainda nesta etapa foram levantadas as necessidades dos diversos clientes, dessa forma através dos questionários apresentados no Capítulo anterior nos QUADROS 5.1 a 5.7 foi gerada a lista de necessidades que são mostradas na TABELA 6.2

Após a coleta de informações, foram levantadas quais as necessidades mais importantes que devem ser atendidas, classificadas com sua importância relativa (grande, média, pequena) as quais dão suporte no próximo passo ao estabelecimento de requisitos.

TABELA 6.2 Lista de necessidades

Diversos clientes	Necessidades	Grau de importância
Usuário	▪ Boa capacidade de sucção	Grande
	▪ Fácil de limpar	Média
	▪ Baixo ruído	Média
	▪ Baixo peso	Média
	▪ Design agradável	Média
	▪ Fácil de operar	Grande
	▪ Operação ergonômica	Grande
	▪ Fácil manuseio	Grande
	▪ Durabilidade	Grande
	▪ Assistência técnica	Grande
	▪ Possua um preço acessível	Grande
	▪ Tamanho pequeno para ambientes domésticos	Grande
	▪ Acessórios adequados para limpar todo tipo de superfície (carpetes, estofados, pisos)	Grande
Produção	▪ Baixo custo de fabricação	Grande
	▪ Baixo refugo	Grande
	▪ Tecnologia adequada	Grande
	▪ Mudança do processo de fabricação do recipiente (é soprado)	Grande
Cliente Interno	▪ Roteiro de montagem	Média
	▪ Fácil montagem	Grande
	▪ Fácil manuseio	Grande
Meio ambiente	▪ Fácil reciclagem	Grande
	▪ Baixa utilização dos recursos naturais	Grande
	▪ Mínimo impacto ambiental no processo produtivo	Grande
	▪ Mínimo impacto ambiental no uso	Grande
	▪ Mínimo impacto ambiental no descarte	Grande
	▪ Fácil desmontagem	Grande
	▪ Identificação dos materiais	Grande
	▪ Remoção manual e mecânica dos componentes	Grande
Manutenção	▪ Fácil desmontagem	Grande
	▪ Acesso fácil aos componentes	Grande

Cabe mencionar que nesta etapa foi fundamental a participação de todos os clientes (internos e externos) e que sem eles teria sido impossível conhecer as necessidades para iniciar o repojeto. Com as informações conseguidas nesta etapa passamos para a etapa seguinte.

6.3. ETAPA 2: DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Nesta etapa as necessidades geradas na etapa anterior foram classificadas por sua importância. Para isso foi dado um valor, ficando grande = 3, média = 2 e pequena = 1. Como mostrado na FIGURA 6.3 foi empregada a ferramenta QFD Casa da Qualidade, onde são avaliados os requisitos do usuário. As necessidades foram classificadas em grupos considerando a produção, uso, manutenção, e meio ambiente.

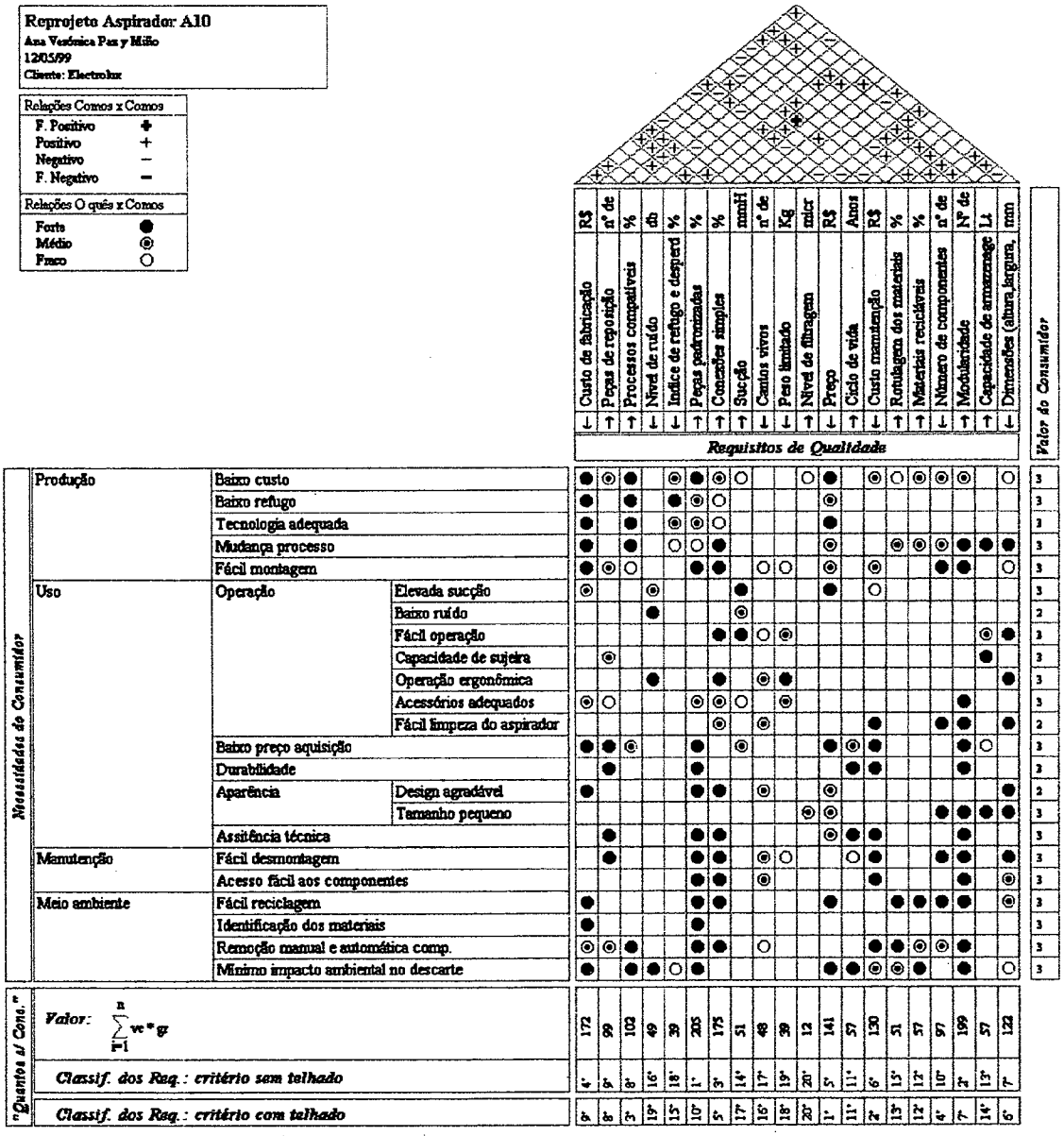


FIGURA 6.3 casa da qualidade com necessidades e geração de requisitos

Os requisitos de projeto fornecidos pela Casa da Qualidade são associados a um valor meta gerando um conjunto de informações que são as especificações de projeto de produto que foram agrupadas na TABELA 6.3

TABELA 6.3 Especificações de projeto

Requisito		Prioridade	Unidade	Objetivos	Sensor	Observação
1. Preço		Alta	R$	Confidenciais	Custos (materiais, fabricação, distribuição e outros)	Valor competitivo em relação à concorrência
2. Manutenção		Média	R$	Baixo custo de manutenção	Custo (material, fabricação, distribuição, assistência técnica e outros)	Peças de reposição e informação técnica
3. Processos compatíveis		Alta	%	Aumentar a compatibilidade dos processos de fabricação	Gerenciamento do processo	Levantamento das medidas de desempenho dos processos.
4. Componentes		Alta	Nº de	Reduzir o número de componentes por subsistema	Número de componentes nos subsistemas (motor, recipiente, acessórios)	Peças de plástico
5. Conexões simples		Alta	%	Simplificar as conexões do asp. A10	Tempo de montagem e desmontagem	Considerar os custos do operador
6. Dimensões	Altura	Alta	mm	Entre 500 a 600 mm	Medição no sketch	Em relação ergonômica ao usuário
	Largura			Entre 350 a 400 mm	Medição no sketch	Largura para acomodar o motor, e filtros.
	Profun-didade			Entre 340 a 380 mm	Verificação no sketch	Para armazenar a sujeira e filtrar o ar
7. Modularidade		Alta	Nº de	Máximo de 4 módulos	Número de módulos	O produto original encontra-se dividido em 3 subsistemas
8. Peças de reposição		Média	Nº de	Aumento de peças de reposição	Número de peças distribuídas para assistência técnica e lojas	
9. Custo de fabricação		Alta	R$	Baixo custo de fabricação	Custo (materiais, setup das máquinas, estoque, operador, refugos, etc)	Valor correspondente ao modelo atual
10. Peças padronizadas		Alta	%	Aumentar o número de peças e componentes padronizados	Nº de peças produzidas / nº peças padronizadas	Os diversos modelos de aspiradores tem muitos componentes diferentes
11. Ciclo de vida		Baixa	Anos	Aumento do tempo de uso	Anos	O produto tem um tempo de uso de aprox.10 anos
12. Materiais recicláveis		Média	%	Aumento de materiais recicláveis	Nº de peça produzida / nº de peça feita de material reciclável	Os componentes do produto atualmente tem uma elevada percentagem de reciclabilidade
13. Rotulagem dos materiais		Alta	%	Rotular todos os componentes do aspirador	Nº de componentes/ Nº de componentes com rotulagem	No produto 76% dos componentes encontram-se rotulados
14. Capacidade de armazenagem		Alta	Lt	Manter a capacidade de 10 e 20 litros	Calculo da capacidade nominal do recipiente	

15. Índice de refugo e desperdício	Alta	%	Reduzir o índice de refugo	Nº de peças produzidas / Nº peças com defeito	O recipiente soprado gera desperdício, tendo que ser retirada uma grande quantidade de material da parte superior.
16. Cantos vivos	Alta	Nº de	Ausência de cantos vivos	Inspeção visual	O aspirador atual tem pouco canto vivo.
17. Sucção	Baixa	mmH_20	Não alterar		O nível atual de 1170 mmH_20 é adequado
18. Peso limitado	Alta	Kg	Entre 7 e 7.5 Kg	Calculado no sketch	O peso atual com acessórios é de 6,9 para o A10 e 7,3 para o A20. Os acessórios pesam 1Kg.
19. Nível de ruído	Média	dB	Baixo nível de ruído	Medidor decibelímetro	
20. Nível de filtragem	Baixa	μm	Não alterar		O nível de filtragem atual é adequado

6.4. ETAPA 3: ESTABELECER A ESTRUTURA FUNCIONAL

Partindo dos requisitos de projeto definidos na etapa anterior, nesta etapa foi estabelecida a estrutura funcional do sistema, para isso a função global foi decomposta sucessivamente, em funções mais simples e bem mais controláveis.

No presente estudo de caso, em se tratando de um reprojeto, ou seja, um produto existente, a estrutura funcional e os grupos construtivos são conhecidos. Assim sendo, para realizar o desdobramento da função global foram examinados os produtos, os desenhos e feito o acompanhamento no processo de manufatura e na montagem.

Dessa forma foi possível determinar as relações do sistema com o meio ambiente assim como analisar e caracterizar o fluxo funcional entre as entradas e saídas. Neste caso o objetivo básico a ser alcançado pelo sistema ou seja, a função global do aspirador é remover a sujeira. A função total foi desdobrada em vários níveis, resultando em uma estrutura detalhada do sistema que indica cada elemento que contribui para o funcionamento do mesmo.

A TABELA 6.4 mostra algumas definições utilizadas no desdobramento funcional a continuação a FIGURA 6.4. mostra as variantes do sistema a ser reprojetado.

TABELA 6.4 Termos utilizados no desdobramento funcional

TERMO	DEFINIÇÃO
Função global	▪ Segundo [Pahl e Beitz, 1996 apud Maribondo, 1999], trata-se de uma função mais abrangente que reúne em si, todas as demais funções (funções básicas, auxiliares etc.,) que compõem o desempenho de uma determinada tarefa.
Função básica	▪ São funções consideradas fundamentais e essenciais para o desenvolvimento de um sistema, ou seja, sem tais funções o sistema não poderia cumprir seus objetivos.
Função auxiliar	▪ São funções consideradas fundamentais e essenciais para o desenvolvimento de um sistema. Tem o papel de dar auxílio, ajudar, favorecer a outras funções a cumprirem seus objetivos.

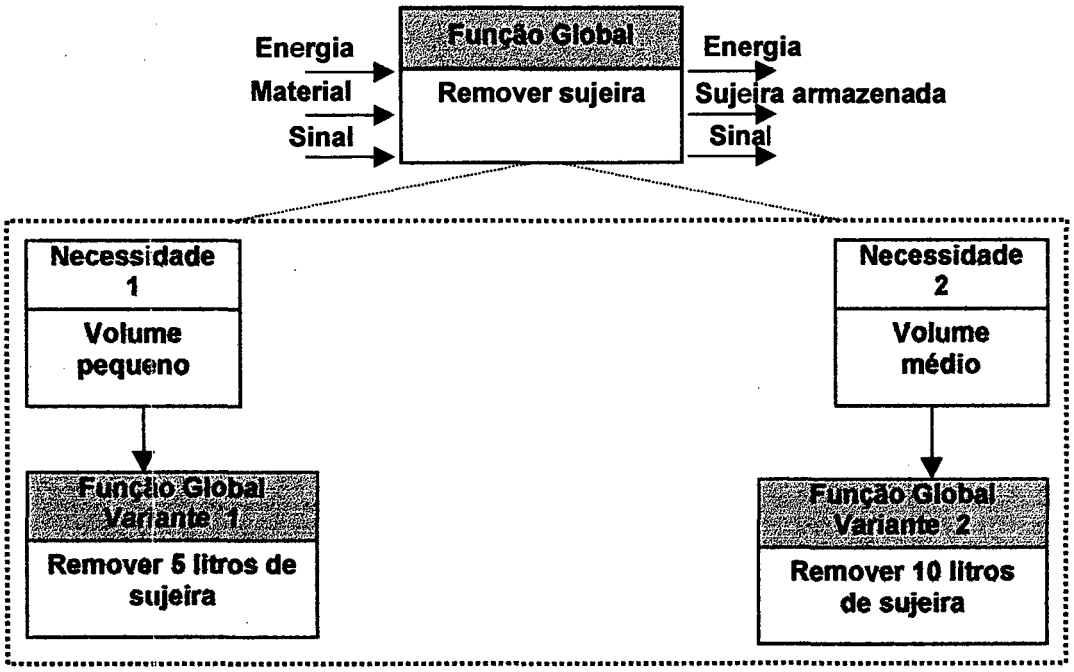


FIGURA 6.4 Variantes do sistema

Na FIGURA 6.5 é mostrada de forma simplificada o funcionamento do sistema. E nas FIGURAS 6.6A e 6.6B o desdobramento funcional com os elementos funcionais existentes. Optou-se por analisar os componentes individualmente tanto do ponto de vista funcional quanto do material, para depois com o auxilio de matrizes chegar a soluções para variar, incorporar ou eliminar algumas funções parciais ou ainda mudar as conexões. Isto será mostrado em detalhe no decorrer deste Capítulo.

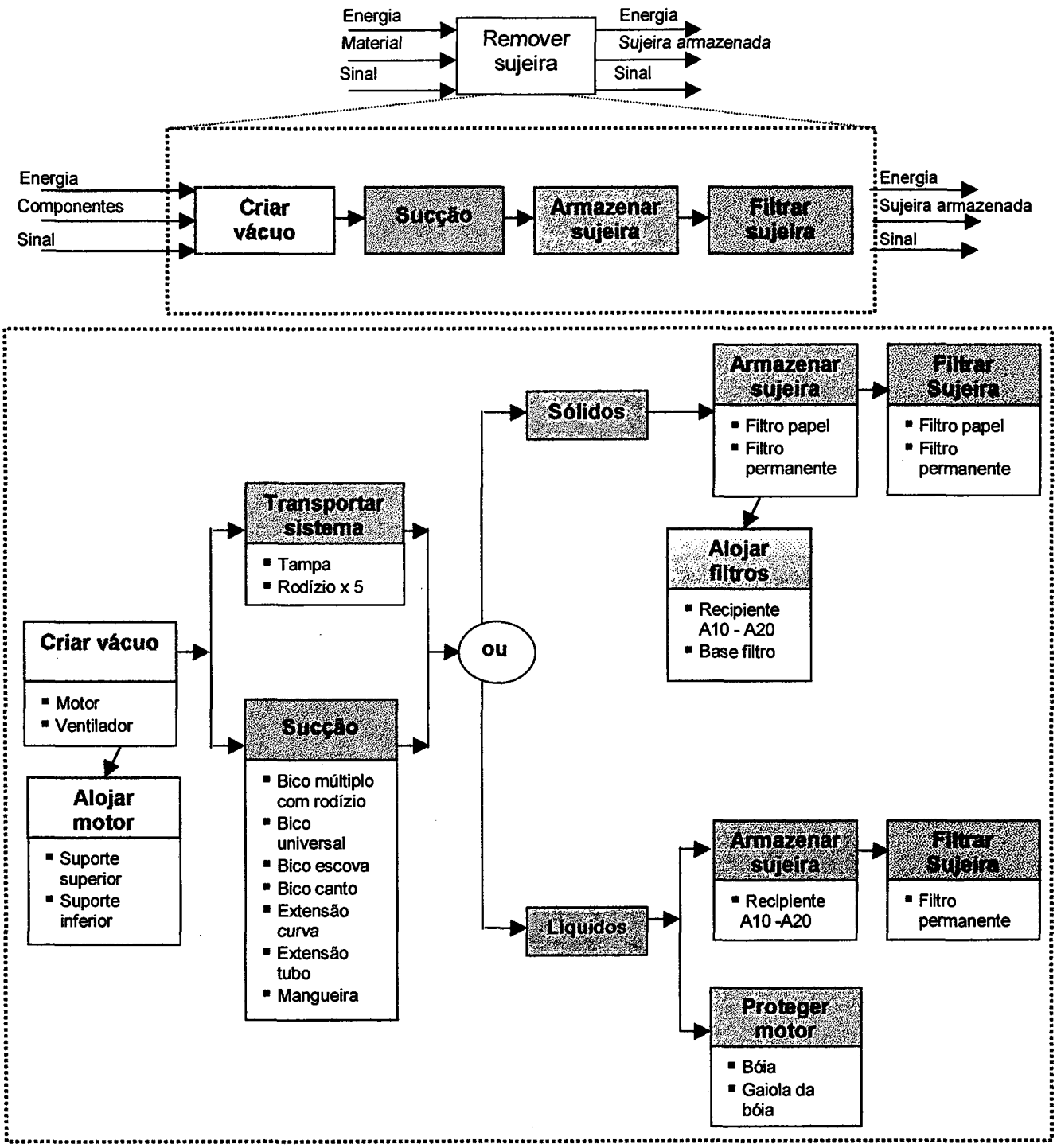


FIGURA 6.5 Desdobramento funcional do sistema aspirador

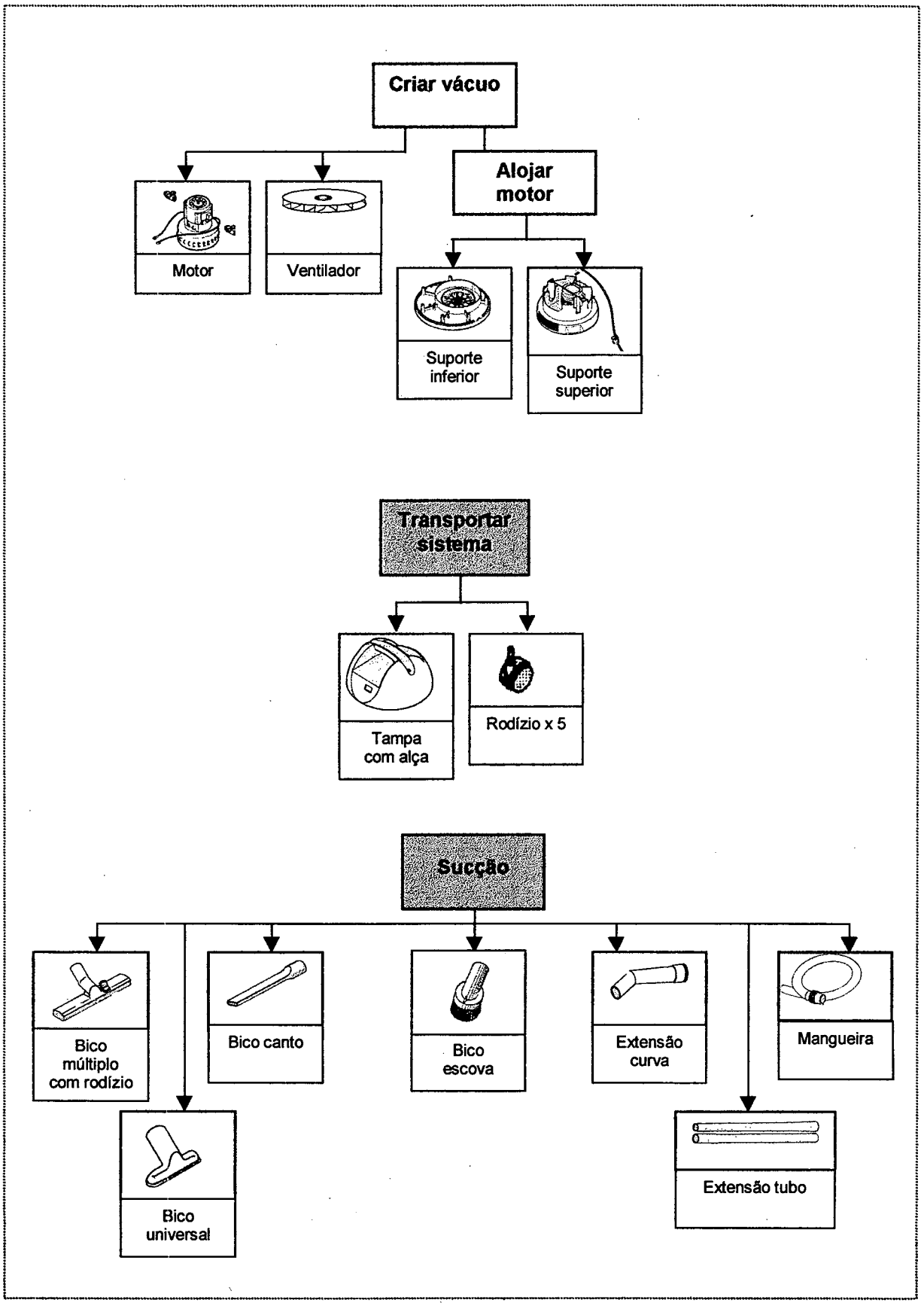


FIGURA 6.6A Desdobramento dos componentes funcionais.

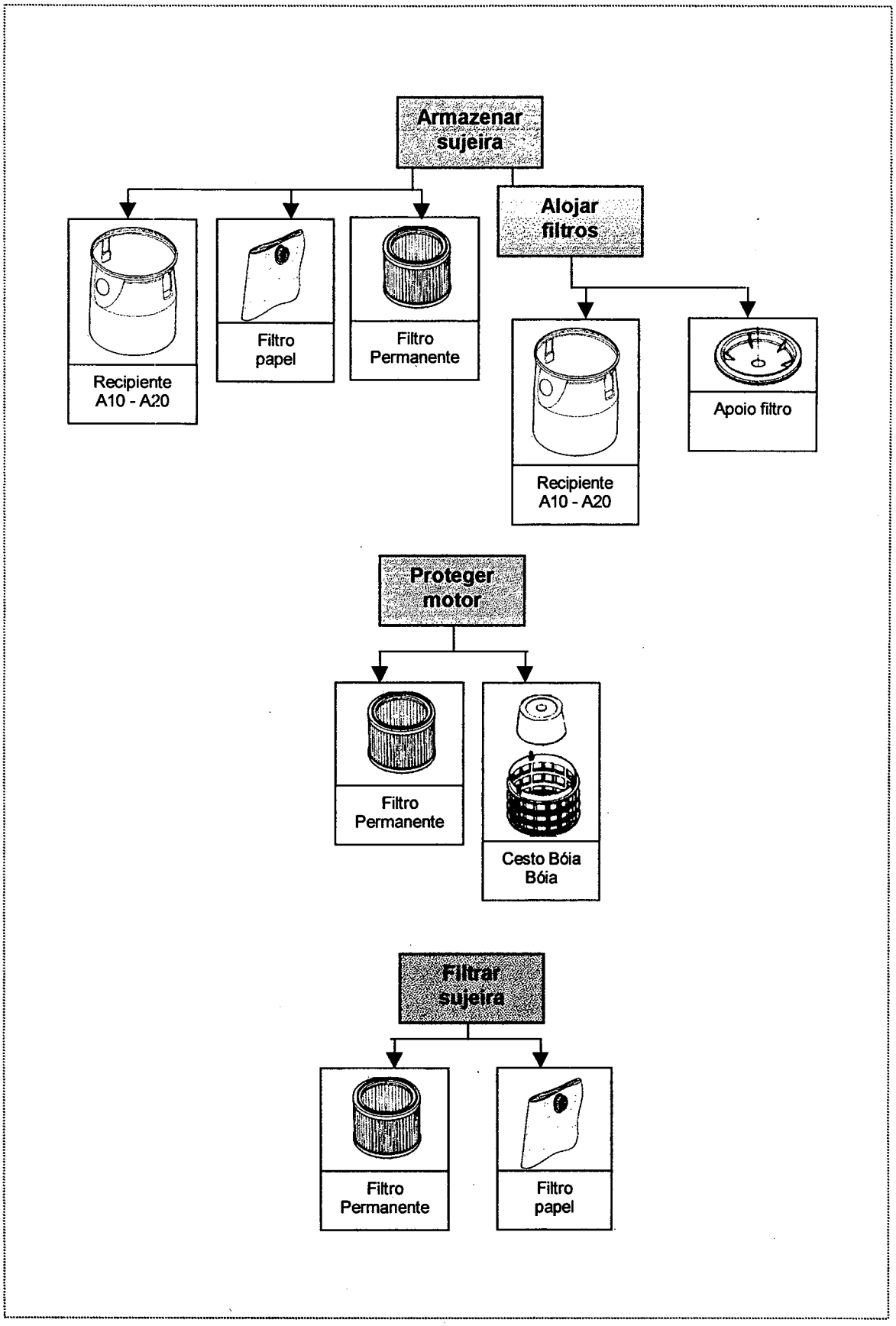


FIGURA 6.6B Desdobramento dos componentes funcionais.

Após a decomposição das funções foi possível ver o sistema de forma simplificada assim como os componentes que fazem parte do sistema. Após a decomposição funcional sentiu-se a necessidade de identificar com maiores detalhes cada um dos componentes e suas conexões. As observações foram agrupadas na TABELA 6.5

TABELA 6.5 Componentes dos Aspiradores A10 E A20

FUNÇÕES	COMPONENTE	MATERIAL	PROC. FABR.	OBSERVAÇÕES
Criar vácuo	▪ Motor ▪ Ventilador	Vários	Vários	Motor e ventilador fazem parte de um módulo fabricado na subfábrica. O motor pode ser reutilizado.
Alojar o motor	▪ Suporte superior ▪Espuma ▪ Suporte inferior ▪ 7 parafusos	Polipropileno Polipropileno	Injeção Injeção	Componente pp com rotulagem. Componente pp com rotulagem.
Transportar o sistema	▪ Tampa ▪ Interruptor ▪ 2 Parafusos ▪ Espuma ▪ 5 Rodízios ▪Eixo vertical ▪ Eixo horizontal	Polipropileno Polipropileno	Injeção Injeção	Componente pp com rotulagem. Componente pp sem rotulagem
Direcionar vácuo	▪ Tubo extensão ▪ Bico canto ▪ Bico escova ▪ Bico universal ▪ Bico múltiplo com rodízio ▪ Mangueira ▪ Extensão curva	Polipropileno Polipropileno Polipropileno Polipropileno Polipropileno e polipropileno com 20% de talco Elastómero Polipropilineo	Injeção Injeção Injeção Injeção Injeção Extrusão Injeção	Carecem de rotulagem de identificação. " " " " " "
Armazenar sujeira	▪ Recipiente ▪ 2 Fechos	Polietileno de alta densidade	Sopro	Possui rotulagem.

	▪ 2 Chapa de reforço ▪ 4 Rebites ▪ 3 Parafusos ▪ Bocal ▪ Filtro permanente ▪ Filtro papel ▪ Bocal	Polipropileno Polipropileno Borracha e papel Papel Polipropileno	Injeção Estampagem Injeção Injeção	Possui rotulagem. Difícil de desmontar. Tem que ser usada uma furadeira e quebrar a cabeça do rebite. Componente sem rotulagem Componente pp sem rotulagem
Alojar filtros	▪ Apoio filtro	Polipropileno	Injeção	Possui rotulagem
Proteger motor	▪ Gaiola ▪ Bóia	Polipropileno Polipropileno	Injeção Injeção	Possui rotulagem Componente sem rotulagem
Filtrar sujeira	▪ Filtro permanente ▪ Filtro papel	Borracha e papel Papel		

Da tabela apresentada pode-se extrair informações importantes para satisfazer alguns requisitos de projeto.

1. Pela diversidade de materiais, percebemos que é preciso uniformizar os materiais

2. Pela presença de componentes sem identificação, percebemos a necessidade de rotular alguns componentes

3. Com presença de elementos de conexão como parafusos e rebites percebemos a necessidade de substituir ou reduzir os mesmos

Para gerar um conjunto de soluções para que as funções atendam aos requisitos de projeto e que as soluções tendam a um reduzido impacto ambiental, um longo tempo de uso, fácil desmontagem, fácil reciclagem, possibilidade de reuso e troca de componentes foram utilizadas matrizes de inter-relação.

As matrizes foram desenvolvidas para fornecer um efeito visual de interpretação, para assim poder estabelecer as melhores soluções para o sistema modular a ser desenvolvido.

A FIGURA 6.7 mostra a matriz I que relaciona a dependência de funções indicando uma possibilidade de se tornarem módulos, é importante destacar que a dependência entre módulos pode ser representada pelas conexões físicas existentes.

	A Criar vácuo	B Alojar motor	C Transportar sistema	D Direcionar o vácuo	E Armazenar a sujeira	F Alojar filtros	G Proteger o motor	H Filtrar sujeira	Grau de dependência
A Criar vácuo		◐	○	○	○	○	●	○	3
B Alojar motor	◐		○	○	○	○	◐	○	2
C Transportar sistema	○	○		○	○	○	○	○	-
D Direcionar vácuo	○	○	○		○	○	○	○	-
E Armazenar a sujeira	○	○	○	○		○	○	◐	1
F Alojar filtros	○	○	○	○	○		○	●	2
G Proteger o motor	●	◐	○	○	○	○		●	5
H Filtrar sujeira	○	○	○	○	◐	●	●		5

Dependência das funções

○ = 0 independência

◐ = 1 dependência parcial

● = 2 dependência

FIGURA 6.7 Matriz I - relação de dependência das funções

A avaliação feita pela matriz quanto a relação de dependência entre as funções fornece as seguintes indicações de dependência:

- Filtrar sujeira (H) - Armazenar sujeira (E)
- Filtrar sujeira (H) - Alojar filtros (E)
- Filtrar sujeira (H) - Proteger motor (G)
- Proteger motor (G) - Criar vácuo (A)
- Proteger motor (G) - Alojar motor (B)
- Criar vácuo (A) - Alojar motor (B)

Na FIGURA 6.8 a matriz I foi aplicada novamente para determinar quais funções apoiam uma a outra e quais são conflitantes entre si.

	A Criar vácuo	B Alojar motor	C Transportar sistema	D Direcionar o vácuo	E Armazenar a sujeira	F Alojar filtros	G Proteger o motor	H Filtrar sujeira	Grau de relação
A Criar vácuo		●		●	●		●	●	+5
B Alojar motor	●						●		+2
C Transportar sistema				●					+1
D Direcionar vácuo	●		●		●				+3
E Armazenar a sujeira	●			●		●		●	+4
F Alojar filtros					●		●	●	+3
G Proteger o motor	●	●				●		●	+4
H Filtrar sujeira					●	●	●		+3

Grau de relacionamento

● = +1Positivo
○ = -1 Negativo

FIGURA 6.8 Matriz I – grau de relacionamento da funções

A matriz mostra que não existe relação de conflito entre as funções. Embora existam funções que mereçam atenção no desenvolvimento, como é o caso de funções que tiveram maior pontuação. Assim, o alojamento do motor, os acessórios para direcionar o vácuo, o recipiente para armazenar a sujeira, os protetores do motor e os filtros são importantes para garantir uma boa sucção.

Na FIGURA 6.9 a matriz II mostra a compatibilidade entre os componentes considerando a reciclagem dos materiais e na FIGURA 6.10 a matriz III relaciona os componentes com algumas diretrizes da TABELA 5.1. É oportuno destacar que a seleção das diretrizes deve ser o resultado de um consenso da equipe de projeto, de acordo com as necessidades previamente estabelecidas.

A seguir foi montada a matriz II que relaciona a compatibilidade dos componentes do ponto de vista de reciclagem dos materiais.

È importante mencionar que para facilitar a montagem das matrizes I, II e III, pode ser usado o software da Casa da Qualidade 2.0 ou outro software similar.

Compatibilidade do material (reciclagem)

● = Compatibilidade total
◐ = Compatibilidade parcial
○ = Total incompatibilidade

		Criar vácuo	Alojar motor		Transportar Sistema		Direcionar Vácuo							Armazenar Sujeira				Alojar filtros	Proteger motor	
		Motor	Suporte sup.	Suporte inferior	Tampa	Rodízios	Tubo extensão	Bico canto	Bico escova	Bico universal	Bico múltiplo	Mangueira	Extensão curva	Recipiente	Fechos	Bocal ext.	Bocal filtro	Apoio filtro	Gaiola	Bóia
Criar vácuo	Motor		◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	○	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐
Alojar motor	Suporte sup.	◐		●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●		
	Suporte inferior	◐	●		●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●		
Transportar Sistema	Tampa	◐	●	●		●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●		
	Rodízios	◐	●	●	●		●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	
Direcionar Vácuo	Tubo extensão	◐	●	●	●	●		●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●		
	Bico canto	◐	●	●	●	●	●		●	●	●	○	●	●	●	●	●	●		●
	Bico escova	◐	●	●	●	●	●	●		●	●	○	●	●	●	●	●	●		
	Bico universal	◐	●	●	●	●	●	●	●		●	○	●	●	●	●	●	●	●	
	Bico múltiplo	◐	●	●	●	●	●	●	●	●		○	●	●	●	●	●	●	●	
	Mangueira	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	●	●	●	●	●		
	Extensão curva	◐	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○		●	●	●	●	●		●
Armazenar Sujeira	Recipiente	◐	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	
	Fechos	◐	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●		
	Bocal ext.	◐	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●		
	Bocal filtro	◐	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	
Alojar filtros	Apoio filtro	◐	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			
Proteger motor	Gaiola	◐	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
	Bóia	◐	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		

FIGURA 6.9 Matriz II - relação de compatibilidade de reciclabilidade dos materiais dos componentes do sistema

A matriz permite um efeito visual para facilitar a interpretação e dessa forma perceber a possibilidade de manter materiais dos componentes ou substituir os materiais incompatíveis. Neste estudo de caso, os materiais são compatíveis, sendo em sua maioria PP (Polipropileno). As incompatibilidades foram encontradas nos elementos de fixação e nas conexões.

A seguir foi montada a matriz III, que relaciona algumas diretrizes escolhidas e os componentes do sistema.

Grau de Relação

● = 1 Relação boa
◐ = 2 Relação parcial
○ = 3 Relação fraca

Grau de importância

1 a 3

		Grau de importância	Suporte sup.	Suporte inferior	Tampa	Rodízios	Tubo extensão	Bico canto	Bico escova	Bico universal	Bico múltiplo	Mangueira	Extensão curva	Recipiente	Fechos	Bocal ext.	Bocal filtro	Apoio filtro	Gaiola	Bóia	Grau de relação	
D 4	Considerar descarte do produto	3	●	●	●	◐	○	○	○	○	○	○	○	●	◐	○	○	●	●	●	114	1º
D 6	Facilitar a desmontagem	1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	54	7º
D 7	Utilizar materiais reciclados	3	●	●	●	◐	●	●	●	●	●	●	●	●	◐	●	●	●	●	●	60	6º
D11	Utilizar materiais recicláveis	3	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○	●	●	●	114	1º
D12	Identificar os componentes	2	◐	◐	◐	◐	●	●	●	●	◐	●	●	◐	○	◐	●	●	●	●	54	7º
D14	Limitar variabilidade de mat.	2	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	○	●	●	●	●	●	●	●	44	8º
D27	Elem. fixação fáceis de remover	3	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	60	6º
D28	Minimizar elem. fixação	2	◐	◐	◐	◐	●	●	●	●	◐	●	●	◐	○	◐	●	●	●	●	54	7º
D29	Fácil acesso á pontos de sep.	2	○	○	○	○	●	●	●	●	○	●	●	○	○	○	●	●	●	●	68	5º
D31	Evitar metais em plásticos	2	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	44	8º
D36	Usar partes padronizadas	2	●	●	●	◐	●	●	●	●	●	●	●	●	◐	●	●	●	●	●	40	9º
D42	Usar materiais compatíveis	3	◐	◐	◐	○	●	●	●	●	○	●	●	◐	○	◐	●	●	●	●	87	4º
D45	Diminuir nº parafusos e rebites	2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	36	10º
D50	Combinar funções em um módulo	3	○	○	○	○	●	●	●	●	○	●	●	○	○	○	●	●	●	●	102	3º
D59	Sist. Adeq. de class. Das peças	3	○	○	○	●	●	●	●	●	○	●	●	○	○	○	●	○	○	●	108	2º
D65	Usar interfaces p/ reciclagem	2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	108	2º

FIGURA 6.10 Matriz III – Relação de atendimento aos critérios de projeto

As matrizes permitiram visualizar as funções e componentes onde o reprojeto deve agir para alcançar os requisitos de projeto estabelecidos. Dessa forma foram definidas as seguintes ações:

- Considerar descarte do produto
- Usar materiais recicláveis
- Usar interfaces e componentes apropriados para reciclagem
- Sistema adequado de classificação de peças
- Combinar funções em um módulo
- Usar materiais compatíveis
- Fácil aceso a pontos de separação
- Usar elementos de fixação fáceis de remover
- Usar materiais reciclados

- Facilitar a desmontagem
- Rotular os componentes, identificando o material
- Minimizar elementos de fixação
- Diminuir o número de parafusos e rebites

6.5. ETAPA 4: ESTABELECER A ESTRUTURA MODULAR - AMBIENTAL

Após o conjunto das especificações de projeto fornecidas pela Casa da Qualidade e agrupadas na TABELA 6.3, da visualização da estrutura funcional e do resultado das matrizes, foram desenvolvidas soluções, dando forma física às funções. Para o desenvolvimento de concepções alternativas com as informações obtidas nas etapas anteriores foi então adotado o método da matriz de concepção, como mostrado na FIGURA 6.11

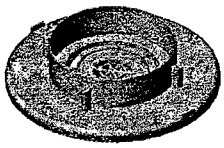
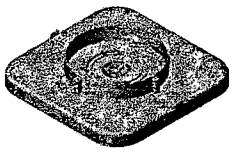
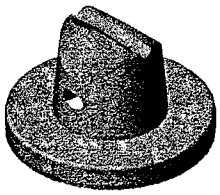
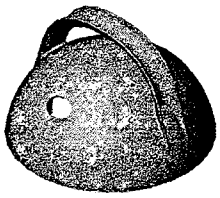
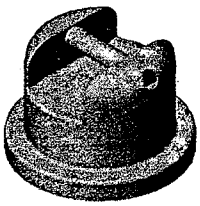
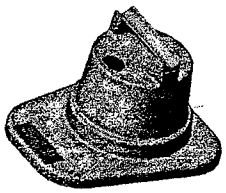
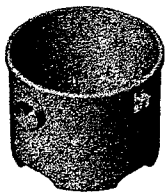
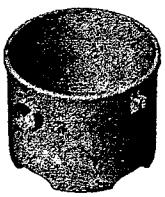
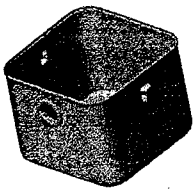
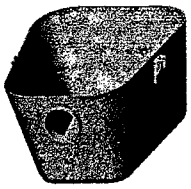
FUNÇÕES	SOLUÇÃO 1	SOLUÇÃO 2	SOLUÇÃO 3	SOLUÇÃO 4
ALOJAR MOTOR				
TRANSPORTAR O SISTEMA				
ARMAZENAR SUJEIRA				
ALOJAR FILTROS				

FIGURA 6.11 Matriz de concepção - reprojeto do aspirador a10 e a20

Na matriz de concepção foram consideradas apenas quatro funções da dez funções que resultaram do desdobramento funcional. A função de criar vácuo é realizada pelo módulo motor o mesmo que é fabricado em uma outra sub fabrica da mesma empresa, por esse motivo não fez parte do reprojeto. Os acessórios de sucção são satisfatórios e também não entraram no reprojeto assim como a função de filtrar sujeira que é realizada pelos filtros de papel e permanente.

Além das considerações ambientais que são o objetivo deste trabalho, cabe mencionar que a fabricabilidade de cada solução foi levada em conta. Assim sendo, procurou-se que cada forma física seja uma peça simples, de plástico PP (polipropileno) que permita que o molde seja simples, facilitando a manutenção tornado-o mais confiável e portanto mais apto para o volume de produção requerido pela empresa.

Em seqüência, com as soluções apresentadas na matriz morfológica se faz necessária a seleção do melhor conceito de solução, para isso foi utilizada a matriz de Pugh.

Em vista, que o estudo de caso trata de um reprojeto e se dispõe de conhecimento e informações, os conceitos gerados apresentam um grau de detalhamento suficiente para serem comparados com base nos requisitos de projeto. Por tanto, a base de comparação na matriz mostrada na FIGURA 6.12, são as especificações de projeto da TABELA 6.3. e o produto, ou seja, o aspirador A10 é a referência.

Valor da relação
Atende melhor = +1
Atende igual = 0
Não atende = -1

		Solução 1	Solução 2	Solução 3	Solução 4	Referência
1. Preço		+1	+1	-1	+1	
2. Manutenção		+1	+1	+1	+1	
3. Processos compatíveis		+1	+1	+1	+1	
4. Componentes		0	+1	0	+1	
5. Conexões simples		-1	+1	0	+1	
6. Dimensões	Altura	+1	+1	+1	+1	
	Largura	+1	+1	+1	+1	
	Profun-didade	+1	+1	+1	+1	
7. Modularidade		+1	+1	+1	+1	
8. Peças de reposição		+1	+1	+1	+1	
9. Custo de fabricação		+1	+1	+1	+1	
10. Peças padronizadas		-1	+1	-1	+1	
11. Ciclo de vida		+1	+1	+1	+1	
12. Materiais recicláveis		+1	+1	+1	+1	
13. Rotulagem dos materiais		+1	+1	+1	+1	
14. Capacidade de armazenagem		+1	+1	+1	+1	
15. Índice refugo e desperdício		+1	+1	+1	+1	
16. Cantos vivos		+1	+1	+1	-1	
17. Sucção		0	0	0	0	
18. Peso limitado		+1	+1	0	0	
19. Nível de ruído		0	0	0	0	
20. Nível de filtragem		0	0	0	0	
TOTAL		16	19	12	16	

FIGURA 6.12 Matriz de pugh

O resultado da matriz, apresenta a solução 2 como a melhor concepção, atendendo da melhor forma as especificações de projeto. Na FIGURA 6.13 são mostrados os componentes que sofreram maiores alterações, na FIGURA 6.14 é mostrada a solução escolhida.

É importante mencionar que a avaliação das soluções foi facilitada, agilizada e otimizada pela visualização de cada componente que foi modelado no software paramétrico variacional Solid Works.

Cabe mencionar que, os desenhos não foram detalhados porque essa atividade não faz parte desta etapa, sendo que o escopo do trabalho é a fase de projeto conceituai.

A caracterização dos módulos da estrutura modular do sistema esta apresentada na TABELA 6.6. Devemos lembrar que toda máquina, equipamento, partes, dispositivos que não forem construídas na empresa e precisarem fazer parte do produto e forem compradas são consideradas módulos.

Dessa forma, os motores dos aspiradores A10 (variante 1) e A20 (variante 2) são considerados módulos. Temos que lembrar também de algumas definições que vão ajudar na caracterização dos módulos do sistema.

- **Módulo básico**, são módulos implementados a partir das funções básicas. Compreendem todas aquelas partes ou componentes que são essenciais a execução da função global, isto é, sem esses componentes ou essas partes o produto (sistema) não poderia realizar a sua função total. As funções básicas foram mostradas no desdobramento funcional da FIGURA 6.4.

- **Módulo auxiliar**, são módulos implementados a partir das funções auxiliares. Compreendem todas aquelas partes ou componentes que tem a função de auxiliar, unir ou posicionar os módulos básicos a cumprirem a sua função.

FIGURA 6.13 Componentes que sofreram alteração

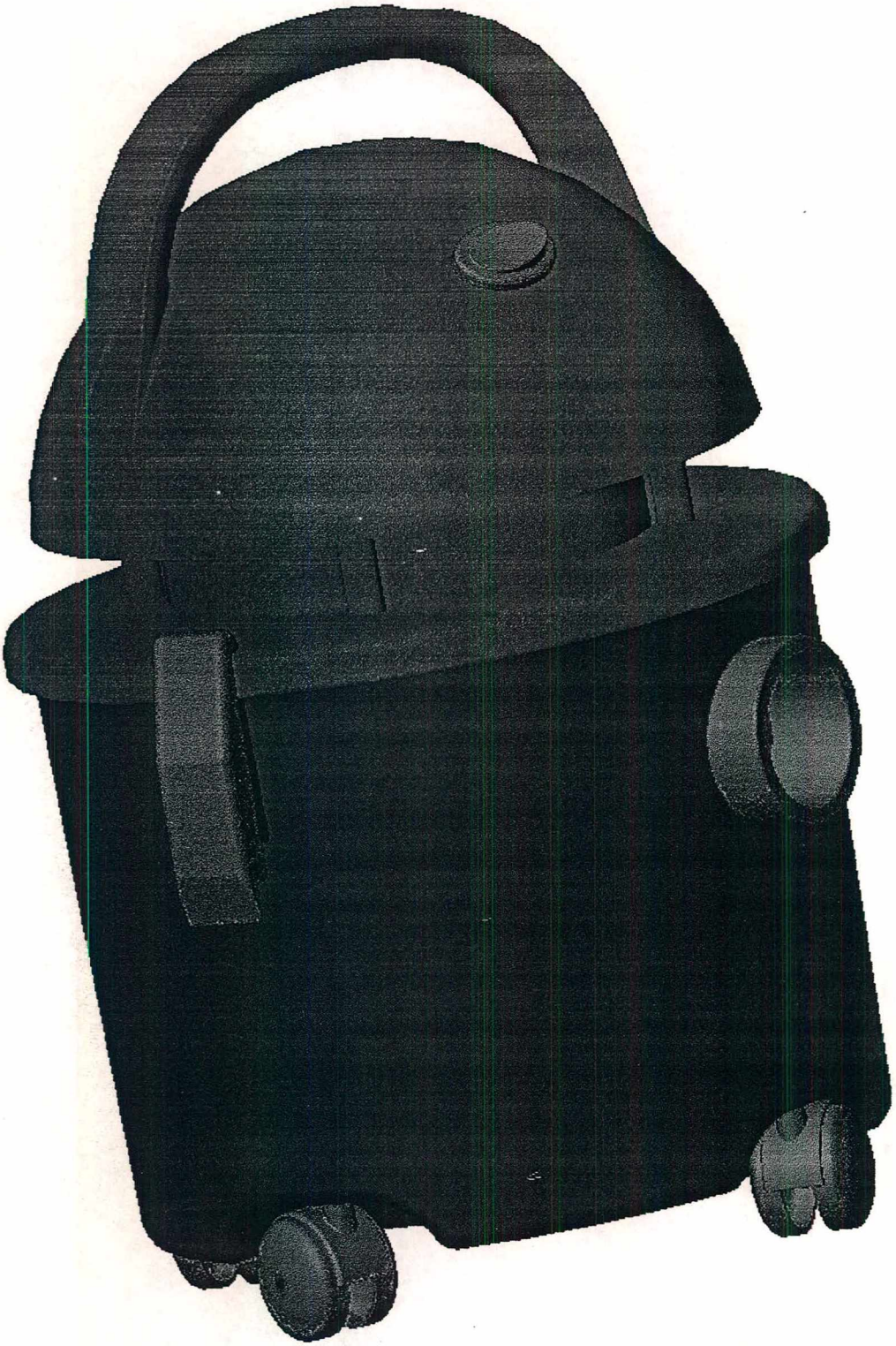


FIGURA 6.14 Solução 2

TABELA 6.6 Tipos de módulos do reprojeto

Código	Tipo de módulo	Descrição
01	Módulo auxiliar	Tecla do interruptor
02	Módulo básico	Tampa e proteção do motor
03	Módulo auxiliar	Interruptor
04	Módulo auxiliar	Proteção motor
05	Módulo auxiliar	Anel de vedação base superior
06	Módulo básico	Motor + base
07	Módulo auxiliar	Espuma rotor
08	Módulo básico	Suporte inferior
09	Módulo auxiliar	Espuma entrada ar
10	Módulo auxiliar	Parafuso Philips com rosca soberba 5x30
11	Módulo básico	Filtro papel
11	Módulo básico	Filtro permanente
12	Módulo auxiliar	Bóia
13	Módulo básico	Base filtro e gaiola
14	Módulo básico	Recipiente A10 – A20 com bocal
15	Módulo auxiliar	Rodízios
16	Módulo auxiliar	Pino trefilado Ø5mmx25
17	Módulo auxiliar	Pivô do fecho
18	Módulo auxiliar	Pino trefilado Ø5mmx35
19	Módulo auxiliar	Fecho rápido
20	Módulo auxiliar	Bocal do recipiente
21 A	Módulo básico	Bico canto
21 B	Módulo básico	Bico escova
21 C	Módulo básico	Bico múltiplo com rodízio
21	Módulo básico	Bico universal
21 D	Módulo básico	Extensão curva
21 E	Módulo básico	Extensão tubo 38x500mm
21 F	Módulo básico	Mangueira 1.8m
22	Módulo auxiliar	Cabo de al. de energia c/ tomada e con.
23	Módulo auxiliar	Anel trava plástico bico curvo
25	Módulo auxiliar	Bucha p/ rodízio
26 A	Módulo auxiliar	Conexão giratória Mangueira/ bico curvo
26 B	Módulo auxiliar	Conexão giratória Mangueira/ bocal recip.
28 A	Módulo auxiliar	Snap fix base/gaiola
28 C	Módulo auxiliar	Snap fix bocal/recipiente
28 B	Módulo auxiliar	Snap fix tampa/gaiola

As mudanças do reprojeto geram as seguintes vantagens:

1 Redução do número de componentes significativamente de 42 para 32, como pode ser visto no ANEXO 1, acredita-se reduzirá o custo do processo de fabricação;

2 Reduzindo o número de elementos de fixação de 37 para 25, como pode ser visto no ANEXO 1, acredita-se reduzirá o custo de montagem;

3 A compatibilidade de material entre os componentes e os elementos de fixação, permitem que o produto possa ser reciclado de forma integral sem necessidade de desmontagem;

- O recipiente que pode ser reciclado junto com o bocal.
- A base do filtro pode ser reciclada junto com o cesto e a bóia.

4 A simplicidade da estrutura do produto pode criar uma economia substancial nos custos de fabricação;

5 O uso de elementos de fixação como snap fix geram operações simples de montagem e desmontagem;

6 A geometria do recipiente facilita que o processo de fabricação seja por injeção, atendendo dessa forma uma das necessidades da empresa e portanto reduzindo os custos de fabricação;

7 O reprojeto integrou funções, permitindo a diminuição de componentes e elementos de fixação;

8 A proposta de rotulagem dos componentes permitirá fácil identificação dos materiais;

9 Que os componentes reprojetados sejam feitos pelo mesmo processo (injeção); diminuindo investimentos com outros equipamentos e/ou processos;

10 A redução do número de itens e de elementos de fixação facilitará o processo de manutenção.

6.6. CONCLUSÕES

Este Capítulo apresentou a aplicação da sistemática proposta no reprojeto dos aspiradores hidro vácuo A10 e A20 da empresa Electrolux.

A aplicação da sistemática ocorreu conforme o planejado ao longo das quatro etapas, cada uma delas mostrou ser um auxílio na fase de desenvolvimento, permitindo que o reprojeto na fase conceitual fosse possível e dessa forma gerar a estrutura modular - ambiental preliminar do aspirador.

As ferramentas utilizadas em cada uma das etapas foram decisivas para a obtenção de uma solução que atende as especificações de projeto e principalmente aos requisltos ambientais, tornando possível a redução do número de componentes, redução de elementos de conexão, substituição de elementos de fixação, agregar funções, e dessa forma permitir a fácil desmontagem do produto e a reciclagem do mesmo.

A estrutura modular - ambiental preliminar mostra também que os componentes do reprojeto do modelo A10 podem vir a ser utilizados em outros modelos de aspirador cuja capacidade seja maior e para concepções diferentes de aspirador.

Após a aplicação da sistemática e obtenção da melhor solução, foram mostrados os desenhos e ressaltadas as vantagens do reprojeto que responde tanto aos objetivos do trabalho como as necessidades da empresa.

Cabe mencionar, que não foi possível conseguir o retorno da empresa sobre a viabilidade e custos de fabricação do reprojeto o que sem dúvida teria favorecido para fazer uma análise comparativa do modelo original e do reprojeto considerando tanto as questões ambientais como as necessidades da empresa.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

7.1. INTRODUÇÃO

Após a conscientização da crise ambiental e da alerta sobre os problemas ambientais globais. Agir efetivamente a respeito dessa questão é uma tarefa que envolve a cada um de nós.

O presente trabalho focalizou um dos problemas ambientais que acontecem no final da vida útil do produto industrial, ou seja, no descarte do mesmo, requerendo que os projetistas otimizem o desenvolvimento dos produtos incluindo a necessidade de reutilizar, recuperar e reciclar entre os muitos outros requisitos dos produtos.

Para isso, foram apresentadas as considerações atuais de projeto de produto, que apontam para um desenvolvimento onde a substituição de materiais, reuso, facilidade de manutenção e desmontagem, além da reciclabilidade são consideradas na fase de projeto conceitual. É a técnica de projeto modular, onde os produtos possuem a característica de cumprir várias funções através da combinação de módulos, facilitando a montagem, desmontagem e reciclagem dos produtos.

Partindo desses elementos, desenvolver e aplicar uma sistemática para a fase de projeto conceitual que integre a questão ambiental e modular e que dessa forma auxilie no desenvolvimento de produtos ecologicamente corretos, passíveis de desmontagem, reciclagem, e reuso foi o objetivo deste trabalho.

7.2. CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento do trabalho, pode-se concluir que:

- A sistemática proposta é simples, útil no desenvolvimento de produtos considerando as características ambientais;
- A sistemática utiliza ferramentas adequadas para cada uma das etapas, facilitando a tomada de decisões;
- Gera respostas que orientam na escolha das melhores soluções ambientais;
- Gera matrizes que permitem uma visualização da informação;
- Reúne diretrizes de projeto de ferramentas ambientais e de projeto modular que servem como recomendações para nortear o desenvolvimento de projeto com características ambientais;
- Estabelece a estrutura preliminar do sistema modular - ambiental;
- Exige da equipe de projeto domínio do campo de conhecimento, informação dos requisitos de projeto e bom senso para a tomada de decisões;

Com respeito a aplicação prática da sistemática proposta pode-se concluir:

- Os aspiradores A10 e A20 são pouco complexos e de poucas peças, mesmo assim, o reprojeto permitiu reduzir o número de itens;
- O modelo permitiu a integração de requisitos de fabricação, processo e aspectos ambientais;
- Sentiu-se a necessidade de base de dados sobre materiais, processos, componentes padronizados e tecnologias de reciclagem, de modo a tornar mais rápido o processo de desenvolvimento;
- A mudança no recipiente não comprometeu a compatibilidade do material com os outros componentes e ainda foram-lhes agregadas funções e redução do custo de fabricação;

- O reprojeto atende aos objetivos ambientais do trabalho, facilitando a desmontagem, reduzindo o número de elementos de fixação, agregando funções, para fins de reciclabilidade;

Cabe mencionar que produtos que facilitem a desmontagem, o reuso, a manutenção e a recilabilidade representam um grande passo na busca da ecologia industrial, porém é preciso um incentivo para pesquisa no sentido de otimizar a execução de coleta seletiva e desenvolvimento da tecnologia apropriada de reciclagem.

7.3. DIFICULDADES ENCONTRADAS

A maior dificuldade foi encontrar uma empresa disposta para fazer a aplicação, em função que as indústrias consideram o desenvolvimento de projeto como área estratégica mantendo em sigilo as informações.

Não foi possível manter uma comunicação permanente com os diversos setores da empresa Electrolux o que teria beneficiado a troca de informação sobre a montagem, e fabricação de forma a quantificar o reprojeto.

Outra dificuldade foi encontrar uma métrica capaz de quantificar o reprojeto do ponto de vista ambiental, estabelecendo o índice de desmontagem e custos de reciclagem.

7.4. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

A sistemática proposta e sua aplicação no estudo de caso, leva a sugerir que novos estudos sejam desenvolvidos:

- Estudo dos custos do desenvolvimento de produtos ecologicamente corretos;
- Desenvolvimento de um índice de reciclabilidade e modularidade para produtos eletrodomésticos;
- Estudo para estabelecer o ciclo de vida de produtos eletrodomésticos e seus componentes;
- Desenvolvimento de base de dados sobre materiais recicláveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALTING, L; LEGARTH, Jens. **Life cycle engineering and Design**. Annals of the CIRP v. 44/2, p 569-579, 1995.

BACK, N. **Metodologia de projeto de produtos industriais.** Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1983.

BACK, N; FORCELLINI, F. **Apostila da disciplina: Projeto de produtos.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Florianópolis: UFSC. 1997.

BARROSO, E. **Apostila do curso: Design management.** Programa Catarinense de Design. FIESC. 1998.

BELLO, Celia V.V. **Zeri - Uma proposta para o desenvolvimento sustentável, com enfoque na qualidade ambiental voltada ao setor industrial**. Florianópolis, 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

BLANCHARD, O. S; FABRICKY, W.J. **Systems engineering and analysis.** Prentice Hall, 1981.

BOOTHROYD, G; ALTING, L. **Design for assembly and disassembly.** Annals of the CIRP v. 41/2, p 625-636, 1992.

BRALLA, James. G. **Handbook of product design for manufacturing.** McGraw-Hill Book, 1986.

BURKE, D.S et al. **Life-cycle design for recyclability.** Design Theory and Methodology, ASME, vol. 42, p 325-332, 1992.

EARLE, Silvia. Um mundo ainda desconehceido. **Folha de S. Paulo.** 17 maio. 1998.

Easy Camera recycling. http://www.agfaphoto.com/products/scurecycle.html.

ELECTROLUX. **Catálogo de produtos.** Curitiba, 1998.

ELECTROLUX. http://www.electrolux.com Material capturado em maio 1999

ERIXON, G; VON YXKULL, A; ARNSTRÖM, A. **Modularity the basis for product and factory reengineering.** Annals of the CIRP v. 45/1, p 1-4, 1996.

FONSECA, H. Antonio. **Desenvolvimento de uma sistemática para a obtenção das especificações de produtos industriais.** Florianópolis, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.

GU, P; HASHEMIAN, M; SOSALE, S. **An integrated modular design methodology for life-cycle engineering.** Annals of the CIRP v. 46/1, p 71-74, 1997.

HORST, T; ZWEERS, A. **Environmentally oriented product development; various approaches to success.** Proceeding of the ICED, p. 739-746, 1993.

ISHII, Kos. **Material selection issues is design for recyclability.** Standford University, 1996. http://www.bullfrog.standford.edu/mml/papers/ishii.eco.96.html

JESWIET, J. **Technical report: Life cycle assessment consciousness**. Annals of the CIRP v. 46/2, p 677-680, 1997.

JOVANE, F; ALTING, L; ARMILLOTTA, A. et al. **A key issue in product life cycle: Disassembly.** Annals of the CIRP v.42/2, p. 651-658, 1993.

JURAN, J.M. **A qualidade desde o projeto.** São Paulo, Editora Pioneira, 1992.

KELDMAN, T. **The environmental part of the product concept.** Proceeding of the ICED, p 1048-1053, 1995.

KIMURA, Fumihiko et al. **Product quality evaluation based on behaviour simulation of used products.** Annals of the CIRP v. 47/1, p 119-122, 1998.

MARIBONDO, Juscelino de Farias; BACK, N; FORCELLINI, F. **Metodologia de projeto de sistemas modulares.** Publicação interna. Núcleo de desenvolvimento integrado de produtos NeDIP. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Florianópolis: UFSC. 1999.

MARIBONDO, Juscelino de Farias; BACK, N; FORCELLINI, F. **Termos técnicos utilizados no desenvolvimento de sistemas modulares.** Publicação interna. Núcleo de desenvolvimento integrado de produtos NeDIP. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Florianópolis: UFSC. 1999

MARTINS, G. Conceição. **Um modelo de avaliação do projeto de produto para desmontagem**. Florianópolis, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

MIRSHAWKA, V; MIRSHAWKA V. **QFD a vez do Brasil.** Makron books, São Paulo,1994.

MØRUP, M. **Total life models – an important tool in design for quality.** Proceeding of the ICED, p. 849-856, 1993.

OLESEN, Jesper. **Environmental QFD - The creation of project focus.** Proceeding of the ICED, p 323-327, 1997.

PAHL, G; BEITZ, W. **Engineering design: A systematic approach**. Springer Verlag, London, 1996.

PIZZATTO, Alex. **Sistemática de projeto para produtos modulares com aplicação em móveis**. Florianópolis, 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.

REIS, Mauricio J.L. **ISO 14000: gerenciamento ambiental: um novo desafio para a sua competitividade.** Qualitymark, Rio de Janeiro, 1995.

SELL, Ingeborg. **Apostila da disciplina: Planejamento de Produtos.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis: UFSC. 1997.

TIBOR, Tom; FELDMAN, Ira. **Iso 14000 Um guia para as novas normas de gestão ambiental.** Futura, São Paulo, 1996.

ULRICH, Karl; TUNG, Karen. **Fundamentals of product modularity.** Issues in Design Manufacture/Integration, ASME, v. 39, p 73-79, 1991.

VIEIRA, Cássio Leite. A máquina do clima. **Folha de S. Paulo.** 17 maio. 1998.

WEULE, H. **Life-Cycle Analysis - A strategic element for future products and manufacturing technologies.** Annals of the CIRP v. 42/1, p 181-184, 1993.

WEULE, H. **Design for Environment - About the treatment of a complex challenge in an industrialized country.** Annals of the CIRP v. 44/1, p 529-533, 1995.

YUKIMURA, C.D. Lopez. **Eficiência e qualidade no projeto de produto com ênfase no método taguchi.** Florianópolis, 1991. Dissertação, (Mestrado em Engenharia) Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

ZÜST, R. et al. **Consideration of environmental aspects in product design.** Proceeding of the ICED, p. 1023-1032, 1995.

BIBLIOGRAFIA

ALTING, L; JORGENSEN, J. **The life cycle concept as a basis for sustainable industrial production**. Annals of the CIRP v. 42/1, p 163-167, 1993.

ASHLEY, S. **Designing for the environment.** Mechanical Engineering, v 115, n.3, p 52-55, 1993.

BAKKER, C. **Ecological information for designers**. Proceeding of the ICED, p 828-831, 1993.

CORPUS. **A reciclagem do plástico.** Artigo capturado em junho de 1999 http://www.corpus.com.br/artigos/reciclagem_plástico. htm

DESIGN MAKER.**Vacuumcleaner**. http://www.designmaker.com/vacuums/index.htm Material capturado em abril 1999.

ELECTROLUX. **Material técnico: Catálogos de peças,** 1998. 1 disco compacto .

ERIXON, G; BJÖRN, Ö. **Synthesis and evaluation tool for modular design.** Proceeding of the ICED, p 900-907, 1993.

KUUVA, M; AIRILAM. **Design for recycling.** Proceeding of the ICED, p 804-811, 1993.

ROSEN, D. W; NEWCOMB, P.J; BRAS, B. **Implications of modularity on product design for the life cycle.** Journal of Mechanical Design, ASME, v120, p483-490,1998.

SPATH, Dieter. et al. **Life cycle assessment tools to support environmental product design and economical disassembly of technical consumer products.** Proceeding of the ICED, p1066-1072, 1995.

VACUUM CLEANER. **External structure materials and durability**. http://www.designmaker. com/ext-stc.htm. Material capturado em abril 1999.

VACUUM CLEANER. **Identifying durable vacuum cleaner design & construction.** http://www.designmaker.com/ id-comp.htm. Material capturado em abril 1999.

VACUUM CLEANER. **Suction motor: design & operation.** http://www.designmaker.com/smotor.htm. Material capturado em abril 1999.

VACUUM CLEANER. **Glossary.** http://www.designmaker.com/glossary.htn#STM. Material capturado em abril 1999.

ZÜST, R; WAGNER, R. **Approach to the identification and quantification of environmental effects during product life.** Annals of the CIRP v.41/1, p 473-476, 1992.

ANEXO 1

LISTA DE COMPONENTES

- **LISTA DE COMPONENTES DO ASPIRADOR A10 E A20**
- **LISTA DE COMPONENTES DO REPROJETO**
- **LISTA DE UNIÕES DO ASPIRADOR A10 e A20**
- **LISTA DE UNIÕES DO REPROJETO**
- **LISTA DE UNIÕES DO ASPIRADOR A10 e A20 QUE FORAM ELIMINADAS OU REDUZIDAS**

LISTA DE COMPONENTES DO ASPIRADOR A10 e A20

Código	Qtd	Descrição	Material	Processo Fab
01	01	Tecla do interruptor	Vários	Injeção
02	01	Tampa	Polipropileno	Injeção
03	01	Interruptor	Vários	Vários
04	01	Proteção motor	Polipropileno	Injeção
05 B	01	Anel de vedação base inferior	Borracha	Injeção
05	01	Anel de vedação base superior	Borracha	Injeção
05 A	01	Anel de vedação do recipiente	Borracha	Injeção
06	01	Motor + base	Vários	Vários
07	01	Espuma rotor		
07 B	01	Espuma saída de ar		
07 A	02	Espuma tampa		
08 B	01	Suporte inferior	Polipropileno	Injeção
08 A	01	Suporte superior	Polipropileno	Injeção
09	01	Espuma entrada ar		
11 B	01	Filtro papel	Vários	Vários
11	01	Filtro permanente	Vários	Vários
12	01	Bóia	Polipropileno	Injeção
13 B	01	Base filtro permanente	Polipropileno	Injeção
13 A	01	Gaiola	Polipropileno	Injeção
14	01	Recipiente A10 – A20	Polietileno alta densidade	Sopro
15	05	Rodízios	Vários	Vários
17	02	Pivô do fecho	Polipropileno	
19	02	Fecho rápido	Polipropileno	
20	01	Bocal do recipiente	Polipropileno	Injeção
21 A	01	Bico canto	Polipropileno	Injeção
21 B	01	Bico escova	Polipropileno	Injeção
21 C	01	Bico múltiplo com rodízio	Vários	Vários
21	01	Bico universal	Polipropileno	Injeção
21 D	01	Extensão curva	Polipropileno	Injeção
21 E	02	Extensão tubo 38x500mm	Polipropileno	Injeção
21 F	01	Mangueira 1.8m	Elastómero	Extrusão
22	01	Cabo de al. de energia c/ tomada e con.	Vários	Injeção
30	02	Suporte do fecho	Polipropileno	Injeção

LISTA DE COMPONENTES DO REPROJETO

Código	Qtd	Descrição	Material	Processo Fab.
01	01	Tecla do interruptor	Vários	Injeção
02	01	Tampa e proteção do motor	Polipropileno	Injeção
03	01	Interruptor	Vários	Vários
04	01	Proteção motor	Polipropileno	Injeção
05	01	Anel de vedação base superior	Borracha	Injeção
06	01	Motor + base	Vários	Vários
07	01	Espuma rotor		
08	01	Suporte inferior	Polipropileno	Injeção
09	01	Espuma entrada ar		
11 B	01	Filtro papel	Vários	Vários
11	01	Filtro permanente	Vários	Vários
12	01	Bóia	Polipropileno	Injeção
13	01	Base filtro e gaiola	Polipropileno	Injeção
14	01	Recipiente A10 – A20 com bocal	Polipropileno	Injeção
15	04	Rodízios	Vários	Vários
17	02	Pivô do fecho	Polipropileno	
19	02	Fecho rápido	Polipropileno	
20	01	Bocal do recipiente	Polipropileno	Injeção
21 A	01	Bico canto	Polipropileno	Injeção
21 B	01	Bico escova	Polipropileno	Injeção
21 C	01	Bico múltiplo com rodízio	Vários	Vários
21	01	Bico universal	Polipropileno	Injeção
21 D	01	Extensão curva	Polipropileno	Injeção
21 E	02	Extensão tubo 38x500mm	Polipropileno	Injeção
21 F	01	Mangueira 1.8m	Elastómero	Extrusão
22	01	Cabo de al. de energia c/ tomada e con.	Vários	Injeção

LISTA DE UNIÕES DO ASPIRADOR A10 e A20

Código	Quantidade	Descrição	Material
10 A	03	Parafuso de fenda com rosca soberba 4x16	Aço ABNT 1020
10 B	07	Parafuso Philips com rosca soberba 4x20	Aço ABNT 1020
10	02	Parafuso Philips com rosca soberba 5x30	Aço ABNT 1020
16	02	Pino trefilado Ø5mmx25	Aço ABNT 1020
18	02	Pino trefilado Ø5mmx35	Aço ABNT 1020
23	01	Anel trava plástico bico curvo	Polipropileno
24	02	Arruela p/ rebite 1x12x25mm	Aço ABNT 1020
25	05	Bucha p/ rodízio	Polipropileno
26 A	01	Conexão giratória Mangueira/ bico curvo	Polipropileno
26 B	01	Conexão giratória Mangueira/ bocal recip.	Polipropileno
27	04	Rebite Pop Nut Ø3,5mmx10	Alumínio
28 A	02	Snap fix base/gaiola	Polipropileno
29 B	05	Snap fix tampa/gaiola	Polipropileno

LISTA DE UNIÕES DO REPROJETO

Código	Quantidade	Descrição	Material
10	04	Parafuso Philips com rosca soberba 5x30	Aço ABNT 1020
16	02	Pino trefilado Ø5mmx25	Aço ABNT 1020
18	02	Pino trefilado Ø5mmx35	Aço ABNT 1020
23	01	Anel trava plástico bico curvo	Polipropileno
25	04	Bucha p/ rodízio	Polipropileno
26 A	01	Conexão giratória Mangueira/ bico curvo	Polipropileno
26 B	01	Conexão giratória Mangueira/ bocal recip.	Polipropileno
28 A	02	Snap fix base/gaiola	Polipropileno
28 C	03	Snap fix bocal/recipiente	Polipropileno
28 B	05	Snap fix tampa/gaiola	Polipropileno

LISTA DE UNIÕES DO ASPIRADOR A10 e A20 ELIMINADAS E/OU REDUZIDAS

Código	Qtd	Descrição	Material
10 A	03	Parafuso de fenda com rosca soberba 4x16	Aço ABNT 1020
10 B	03	Parafuso Philips com rosca soberba 4x20	Aço ABNT 1020
10	02	Parafuso Philips com rosca soberba 5x30	Aço ABNT 1020
24	02	Arruela p/ rebite 1x12x25mm	Aço ABNT 1020
27	04	Rebite Pop Nut Ø3,5mmx10	Alumínio